

**CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA Y NUTRICIONAL DE 30
GENOTIPOS DE FRÍJOL CAUPÍ [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.]**

WILLIAM JOSÉ FUENTES ESPITIA, I.A.



**UNIVERSIDAD DE CORDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
MAESTRIA EN CIENCIAS AGRONOMICAS
ÁREA DE FORMACIÓN EN FITOMEJORAMIENTO
MONTERIA**

2021

**CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA Y NUTRICIONAL DE 30
GENOTIPOS DE FRÍJOL CAUPÍ [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.]**

WILLIAM JOSÉ FUENTES ESPITIA, I.A.

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de magister
en Ciencias Agronómicas, énfasis en Fitomejoramiento.**

Director:

HERMES ARAMÉNDIZ TATIS, I.A, Ph. D.

**UNIVERSIDAD DE CORDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
MAESTRIA EN CIENCIAS AGRONOMICAS
ÁREA DE FORMACIÓN EN FITOMEJORAMIENTO
MONTERIA**

2021

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas expresadas, conceptos y resultados del proyecto son responsabilidad del autor.

Artículo 17, acuerdo No. 039 del 24 de Junio de 2005 del Consejo Superior de la Universidad de Córdoba.

Nota de aceptación

Director:

Hermes Araméndiz Tatis, I.A., Ph. D.

Miguel Espitia Camacho, I.A., Ph.D

Jurado

Iván Javier Pastrana Vargas, I.A. MsC

Jurado

Montería, 28 de abril de 2021

DEDICATORIA

A Dios, por darme sabiduría, voluntad y paciencia en cada momento de este ciclo de aprendizaje.

A Dulcinea y Fulgencio (mis padres) y Luis Carlos y Ketty (mis hermanos), por su amor, apoyo incondicional y esfuerzo para conseguir este logro.

A mi compañera Hermis Pineda por todo tu amor, comprensión, compañía y apoyo en todo este tiempo.

A mis hijos Iván y Juliana, porque son la mayor inspiración que tengo para ser cada día mejor.

William José Fuentes Espitia

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Córdoba por brindar un espacio para el desarrollo personal y todo el plantel que conforma la Facultad de Ciencias Agrícolas por brindar sus conocimientos en mi formación profesional.

Sincero agradecimiento y admiración por el director de este estudio:

Dr. Hermes Araméndiz Tatis por su acertada orientación durante la ejecución de este trabajo.

Al Ing. Alejandro Agámez por su apoyo en el establecimiento de este trabajo en su fase de campo y compartir sus conocimientos.

A mis colegas Dairo Pérez, Jenrry Hernández y Naudith Urango, por mostrar su total disposición en cada momento que requerí de su apoyo.

A los miembros del jurado por la intención de mejorar el informe del trabajo con sus sugerencias.

A todas aquellas personas que de una u otra manera brindaron colaboración y facilitaron el desarrollo de este trabajo durante su ejecución.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	xvi
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	xvi
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
3. ESTADO DEL ARTE	23
3.1 GENERALIDADES	23
3.1.1 Morfología..	23
3.1.2 Partes de la planta de fríjol.....	23
3.1.2.1 Raíz.....	23
3.1.2.2 Tallos y ramas.....	23
3.1.2.3 Hojas.....	24
3.1.2.4 Inflorescencia y flor.....	24
3.1.2.5 Fruto.....	24
3.1.2.6 Semilla.....	24
3.1.3 Fenología del cultivo.....	25
3.1.3.1 Fase vegetativa.....	25
3.1.3.2 Fase reproductiva	25
3.2 PRODUCCION DE FRÍJOL CAUPÍ EN EL MUNDO	25
3.3 EL CULTIVO DE FRÍJOL CAUPI EN COLOMBIA	26
3.4 CARACTERIZACIÓN	27
3.4.1 Caracterización morfológica.....	28
3.4.2 Caracterización nutricional.....	32
3.4.2.1 Determinación de proteínas por el método de Kjendahl	33
3.4.2.2 Determinación de minerales, hierro (Fe) y zinc (Zn).	34

3.5 ANALISIS MULTIVARIADO USADO EN ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONOMICA	35
3.5.1 Análisis de Componentes Principales.	37
3.5.2 Analisis de variables canónicas.....	38
3.5.3 Análisis de coordenadas principales (ACOP).....	38
3.5.4 Análisis factorial de correspondencias simple (AFC).....	39
3.5.5 Análisis de conglomerados (Cluster)	39
3.5.6 Métodos de agrupamiento jerárquico.....	42
4. OBJETIVOS.....	44
4.1 OBJETIVO GENERAL	44
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	44
5. REFERENCIAS	45
CAPITULO II	55
CARACTERIZACIÓN MORFO AGRONÓMICA Y NUTRICIONAL DE 30	
GENOTIPOS DE FRÍJOL CAUPÍ [<i>Vigna unguiculata</i> (L.) WALP.] DE LA	
COLECCIÓN DE GERMOPLASMA DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA	55
RESUMEN.....	56
ABSTRACT	57
1. INTRODUCCIÓN.....	58
2. MATERIALES Y MÉTODOS	62
2.1 LOCALIZACIÓN	62
2.2 VARIABLES E INDICADORES	62
2.2.1 Variables independientes.....	62
2.2.2 Variables dependientes.....	63
2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS	66
2.4 PROCEDIMIENTO	67
3. RESULTADOS Y DISCUSION	68
3.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA	68
3.1.1 Variables cualitativas.	68
3.1.2 Análisis de varianza de las variables cuantitativas	70

3.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA VARIABLES DISCRIMINANTES EN 30 ACCESIONES DE FRÍJOL CAUPÍ	73
3.3 ANÁLISIS BILOT.....	79
4. CONCLUSIONES.....	85
5. REFERENCIAS	86
CAPITULO III.....	97
AGRUPAMIENTO GENÉTICO DE 30 GENOTIPOS DE FRÍJOL CAUPÍ [<i>Vigna</i> <i>unquiculata</i> (L.) WALP.] DE LA COLECCIÓN DE GERMOPLASMA DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA	97
RESUMEN.....	98
ABSTRACT	99
1. INTRODUCCIÓN.....	100
2. MATERIALES Y MÉTODOS	102
2.1 LOCALIZACIÓN	102
2.2 VARIABLES E INDICADORES.....	102
2.2.1. Variables independientes.	102
2.2.2 Variables dependientes.....	103
2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS	104
2.4 PROCEDIMIENTO	104
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	105
3.1 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO	105
3.1.1 Proyeccion 2D y 3D.....	105
3.1.2 Analisis clúster mediante metodo jerárquico	108
4. CONCLUSIONES.....	122
5. REFERENCIAS	123
6. CONCLUSIONES GENERALES	126
7. RECOMENDACIONES	127

INDICE DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Clasificación del tamaño de semillas de fríjol caupí según el peso de 100 semillas.....	25
Tabla 2. Índices de similitud empleados en caracterización de germoplasma para análisis multivariado.	40
Tabla 3. Métodos de agrupamiento jerárquico más utilizados en caracterización de germoplasma	43
Tabla 4. Estudios de diversidad analizados por métodos multivariados.....	60
Tabla 5. Nombre y origen geográfico de las accesiones de fríjol caupí para caracterización morfoagronómica y nutricional.....	62
Tabla 6. Variables evaluadas para caracterización de 30 accesiones de caupí.	63
Tabla 7. Frecuencia para Características cualitativas de 30 accesiones de fríjol caupí. ..	68
Tabla 8. Cuadrados medios y estadísticas descriptivas para variables cuantitativas de 30 accesiones de fríjol caupí.	72
Tabla 9. Matriz de correlaciones para variables cuantitativas discriminantes en fríjol caupí.	75
Tabla 10. Estimativas de autovalores e importancia de descriptores.....	77
Tabla 11. Peso de variables discriminantes en los nueve componentes principales del ACP.....	78
Tabla 12. Genotipos de fríjol caupí para caracterización morfo agronómica y nutricional	102
Tabla 13. Variables discriminantes para agrupamiento de 30 accesiones de fríjol caupí.	103
Tabla 14. Accesiones y distancias genéticas calculadas por el método K means.....	105
Tabla 15. Descriptores cuantitativos para 30 accesiones agrupados por el método Kmeans.....	107

Tabla 16. Distancias de Gower entre 30 accesiones de fríjol Caupí.	108
Tabla 17. Genotipos más y menos divergentes de fríjol caupí, según distancia de Gower	109
Tabla 18. Descriptores cualitativos determinados en 30 accesiones de fríjol caupí.	111
Tabla 19. Descriptores cuantitativos determinados en 30 accesiones de fríjol caupí. ...	115
Tabla 20. Datos cuantitativos mostrados por accesiones del grupo I.	116
Tabla 21. Datos cuantitativos mostrados por accesiones del grupo II.	117
Tabla 22. Datos cuantitativos mostrados por accesiones del grupo III.	118
Tabla 23. Datos cuantitativos mostrados por la accesión del grupo IV.	118

INDICE DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Biplot CP 1 vs CP 2. Para variables discriminantes en 30 accesiones de fríjol caupí.	81
Figura 2. Biplot CP 1 vs CP 3. Para variables discriminantes en 30 accesiones de fríjol caupí.	83
Figura 3. Biplot CP 2 vs CP 3 para variables discriminantes en 30 accesiones de fríjol caupí.	84
Figura 4. Proyección de agrupamiento 2D de 30 accesiones de fríjol caupí por método de agrupamiento K Means.	106
Figura 5. Dendograma de agrupamiento para 30 accesiones de fríjol caupí con distancia de Gower método UPGMA.	110

INDICE DE ANEXOS

pág.

ANEXO 1. Medias de caracteres cuantitativos en 30 accesiones de fríjol caupí.	129
ANEXO 2. Análisis fitopatológico realizado a plantas de caupí cuarentano afectadas por Fusarium.	132

RESUMEN

El fríjol caupí [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.], es una de las fuentes de alimentación humana más antiguas y ante el alto costo de las proteínas de origen animal, es la fuente de proteína viable más económica, por ello representa uno de los cultivos de hortalizas más importantes del mundo y de los principales cultivos alimentarios en África, América Latina e India.; En la la región Caribe de Colombia es de gran importancia social, económica y alimenticia, ya que hace parte de la alimentación de todos sus habitantes, que lo consumen en diferentes presentaciones, esto lo convierte en una alternativa que mitiga en parte problemas de malnutrición en sectores vulnerables de varios departamentos de esta parte del país. La Universidad de Córdoba, tiene en custodia una colección de germoplasma de esta especie conformada por 55 entradas entre materiales criollos y extranjeros, sin caracterizar morfoagronómicamente; Los estudios de caracterización morfoagronómica son importantes para la conservación de los recursos fitogenéticos, también para el conocimiento de la variación fenotípica, la relación entre genotipos y la identificación de parentales con características de interés para obtener nuevos materiales genéticos, en programas de mejoramiento de una especie. En el presente estudio se evaluaron 30 accesiones de fríjol caupí, basados en 36 caracteres morfoagronómicos teniendo como referencia los descriptores de la especie generados por el IBPGR, se emplearon técnicas del análisis multivariado denominadas análisis de componentes principales y análisis de clúster en la identificación de caracteres discriminantes para la cuantificación de la diversidad genética del germoplasma evaluado, e identificación de materiales con rasgos interesantes, especialmente vigor, tamaño de grano, color del grano y contenidos de hierro, zinc y proteína. Los resultados demostraron la existencia de variabilidad genética y la contribución de algunos caracteres para ello, las accesiones más contrastantes para rasgos de interés agronómico y nutricional se sugieren como progenitores de futuras hibridaciones para aprovechar la heterosis, esto con el fin de mejorar rendimiento y calidad nutricional de los genotipos existentes.

Palabras clave: Diversidad genética, descriptores agronómicos, análisis multivariado

ABSTRACT

Cowpea beans [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.], Is one of the oldest sources of human food and, given the high cost of animal proteins, is the most economical viable protein source, therefore it represents one of the the most important vegetable crops in the world and the main food crops in Africa, Latin America and India; In the Caribbean region of Colombia it is of great social, economic and nutritional importance, since it is part of the diet of all its inhabitants, who consume it in different presentations, this makes it an alternative that partially mitigates problems of malnutrition in vulnerable sectors of various departments in this part of the country. The University of Córdoba has in custody a collection of germplasm of this species made up of 55 entries between Creole and foreign materials, without morphoagronomic characterization; Morphoagronomic characterization studies are important for the conservation of phytogenetic resources, also for the knowledge of phenotypic variation, the relationship between genotypes and the identification of parents with characteristics of interest to obtain new genetic materials, in programs of improvement of a species . In the present study, 30 cowpea bean accessions were evaluated, based on 36 morphoagronomic characters, taking as reference the descriptors of the species generated by the IBPGR, multivariate analysis techniques called principal component analysis and cluster analysis were used in the identification of characters. Discriminators for the quantification of the genetic diversity of the evaluated germplasm, and identification of materials with interesting traits, especially vigor, grain size, grain color and iron, zinc and protein contents. The results demonstrated the existence of genetic variability and the contribution of some characters to this, the most contrasting accessions for traits of agronomic and nutritional interest, are suggested as progenitors of future hybridizations to take advantage of heterosis, this in order to improve yield and quality. Nutritional status of existing genotypes.

Keywords: Genetic diversity, agronomic descriptors, multivariate analysis

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. INTRODUCCIÓN

En la alimentación humana y animal se utilizan hasta 150 especies de leguminosas, de las que las más relevantes para el consumo humano son judías, lentejas, guisantes, garbanzos, habas y caupí. En su composición interesa destacar los contenidos de proteínas, de hidratos de carbono de asimilación lenta, de minerales (calcio, hierro, zinc), fibra soluble y algunos componentes bioactivos minoritarios (Alonso et al., 2010). Según De Paula et al., (2018), las leguminosas contienen el doble de proteínas que los cereales; y su proteína exhibe adecuado perfil de aminoácidos esenciales como lisina, valina, isoleucina, leucina, fenilalanina, arginina, histidina y treonina. (Tshovhote et al., 2003). Además, los granos de leguminosas se destacan fundamentalmente por su aporte en vitaminas del grupo B: tiaminas (B1), riboflavina (B12) y niacina (B5) (Aguirre, 2009; Morales-Morales, et al., 2016).

El caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], según Wamalwa et al., (2016), es una de las fuentes de alimentación humana más antiguas. La especie se cultiva en más de $\frac{2}{3}$ partes de los países en desarrollo asociado con los principales cultivos de cereales (Agbogidi, 2010; Guillen et al., 2016). Es uno de los cultivos de hortalizas más importantes del mundo y de los principales cultivos alimentarios en África, América Latina e India. Según la FAO, en el año 2019 se cultivaron en el mundo más de 14 millones de hectáreas de frijol caupí, con una producción de 8,9 millones de toneladas, África es el continente que produce el 96,8% del total mundial, siendo Nigeria el país de mayor producción con 3,6 millones de toneladas del grano (FAOSTAT, 2020).

Los recursos fitogenéticos son muy importantes en cualquier programa de fitomejoramiento, ya que la variabilidad genética es de gran relevancia para la aplicación de cualquier método de mejoramiento que conduzca a la obtención de nuevos cultivares que respondan a las necesidades de una agricultura por demanda. En este orden de ideas, la colección de germoplasma de frijol caupí de la Universidad de Córdoba, carece de estudios que

fundamenten mucho mejor el uso de dichos recursos en el programa de mejoramiento genético; tal como se ha dado en otros países.

Los estudios para discriminar la diversidad genética a través de descriptores morfológicos y agronómicos son importantes para conocer las discrepancias y uso potencial de las accesiones en un programa de mejoramiento; De acuerdo con esto, Nkoana et al., (2019), afirman que la recolección, caracterización y evaluación de accesiones de caupí para rasgos agronómicos son importantes para discernir la variabilidad genética que puede explotarse en el fitomejoramiento para mejorar la cadena de valor del caupí. Los trabajos realizados a nivel mundial en que se ha evaluado germoplasma de frijol caupí han empleado los descriptores desarrollados por el IBPGR (hoy Biodiversity Internacional) en 1983 (Gerrano et al, 2015; Walle et al., 2019; Nkhoma, 2019, Martos- Fuentes et al., 2016, Morales- Morales et al ., 2019; Costa, 2010); otros utilizaron en sus trabajos descriptores editados, este es el caso de Melo et al., (2011) que cita uno desarrollado por Bettencourt (2007); Dos Santos, (2020) usó descriptores del IPGRI (2001), Mofokeng et al., 2019, empleó los del IBPGR. (1993), mientras Santana et al., (2019) y Ndengoloka (2017), se basaron en la versión de Bioversity International, (2007). Las variables más discriminantes referenciadas en dichos trabajos son: peso de cien semillas, longitud de la vaina, rendimiento, número de granos por vaina, días a floración, en cuanto a los contenidos nutricionales el contenido de hierro es el más importante seguido del porcentaje de proteínas y el zinc.

En Colombia, el único programa de fitomejoramiento de frijol caupí se encuentra en la Universidad de Córdoba, debido a la importancia que esta especie representa en la seguridad alimentaria y nutricional de los departamentos de la costa, dado que sus características de tolerancia a sequía, incorporación de nitrógeno atmosférico, ciclo corto y contenido de proteína y micronutrientes, la hacen indispensable en nuestra agricultura para satisfacer las necesidades de la región ante el abandono que le dio el estado a raíz de la reestructuración del sector agropecuario en 1994.

Ante el alto costo de las proteínas de origen animal, el fríjol caupí es la fuente de proteína viable más económica para las familias vulnerables del campo y los estratos de menores ingresos en Colombia, dado que el grano y las hojas son una fuente importante de aminoácidos, minerales, vitaminas y nitrógeno. (De Paula et al., 2018). El caupí se conoce como la carne de las personas en situación de pobreza, de acuerdo con Wamalwa et al., (2016).

Según estimaciones de Unicef, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Banco Mundial para 2015, cada año 50 millones de niños y niñas en el mundo sufren de desnutrición aguda; de ellos, 16 millones tienen desnutrición aguda severa y 34 millones, desnutrición aguda moderada. Al igual que otros países de Latinoamérica y del mundo, Colombia enfrenta un mosaico nutricional en el que persisten los problemas de desnutrición mientras aumentan las prevalencias de sobrepeso y obesidad, situación que se ha denominado la doble carga nutricional, (Janna y Hanna, 2018). Según Ruiz – Ruiz, (2018), La mortalidad de los niños menores de un año muestra la concentración de las defunciones en los municipios de la región del noroccidente del país, en la que se ubica Urabá y territorios de la Costa Atlántica y la llanura Caribe, particularmente municipios de los departamentos de Cesar, Guajira, Magdalena y Córdoba; las cuales superan los 300 fallecidos por cada 100,000 habitantes. Un estudio realizado en niños menores de cinco años en el departamento de Córdoba reportó que el 69 % de la muestra tiene algún tipo de anemia por deficiencia de micronutrientes como hierro, zinc y vitamina A, que se podría corregir eliminando malos hábitos alimentarios, y optimizando la calidad de la nutrición y el conocimiento de fuentes alimenticias de padres, niños y cuidadores. (Janna y Hanna, 2018).

El fríjol caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], es la leguminosa de mayor importancia en el Caribe colombiano, ya que forma parte de sus hábitos alimenticios. (Araméndiz et al., 2017). Por su alto valor nutricional, es fuente de energía (64% a 69 % de carbohidratos), micronutrientes (Na, K, Ca, Mg, P, Zn, Fe) y su mayor atributo se debe al alto contenido de proteína (20% a 25 %), constituida principalmente por globulinas (51%), albúminas (45%), prolaminas (1%) y glutelinas (3%). Estas características nutricionales le confieren un enorme

potencial para combatir la desnutrición en la población vulnerable, (Martínez Reina et al., 2020).

El aporte de este estudio es la caracterización morfoagronómica y nutricional de 30 accesiones de fríjol caupí [*Vigna unguiculata* (L). Walp], pertenecientes a la colección de germoplasma de la Universidad de Córdoba, con el fin de identificar padres que puedan ser utilizados en un programa de mejoramiento, para obtención de nuevos cultivares que respondan a los limitantes tecnológicos del sistema de producción, ya que si se sigue desconociendo el uso de los recursos genéticos, es navegar en un río de genes sin conocer el potencial de uso de cada accesión y con el peligro de erosión genética.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El caupí es una especie autógama y su base genética se considera estrecha a nivel mundial, así lo afirman estudios realizados por (Wamalwa, et al., 2016; Asare, et al., 2010) y más en nuestro medio, donde existen barreras para la introducción de germoplasma foráneo por parte del ICA, ya que hace aproximadamente 5 años no permitieron el ingreso oficial de recursos genéticos del IITA de Nigeria y la colección de germoplasma de la Universidad de Córdoba, está constituida por materiales principalmente de origen brasilero, colombiano y mexicano y no del centro de origen que es el continente africano. A pesar de la importancia alimenticia de esta especie y adaptación a condiciones semiáridas; Los programas de mejoramiento genético a nivel mundial son pocos, destacándose Brasil, Burkina Faso, India, Senegal y Estados Unidos, especialmente el IITA en Nigeria cuyo programa combina la obtención de cultivares de alto rendimiento de grano y resistencia a factores bióticos y abióticos (Araméndiz-Tatis, et al., 2011).

El fríjol caupí es sembrado principalmente por pequeños productores en áreas que no superan las dos hectáreas, en todos los departamentos de la región Caribe de Colombia, dada su importancia de los hábitos alimenticios de sus pobladores. El mejoramiento genético de fríjol caupí en Colombia, es realizado por la Universidad de Córdoba; el obtener nuevos cultivares que respondan a las necesidades de los productores, requiere de variabilidad genética y en este sentido, existen limitantes que afectan este proceso, en un cultivo huérfano de estado, debido a factores bióticos como marchitez, virosis y perforador de la vaina al igual que abióticos como sequía, exceso de humedad y radiación solar, afectan los rendimientos y la calidad de semilla, dado que no superan los rendimientos de 600 kg ha^{-1} y calidad nutricional de semilla de bajos contenidos de hierro y zinc, que inciden en los bajos indicadores bioquímicos de las poblaciones vulnerables de la región Caribe (Araméndiz-Tatis et al., 2011). Asociado a lo antes anotado, existe una base genética mucho más estrecha en el país, por ser una especie de poco interés para las instituciones oficiales y particulares, con excepción de la Universidad de Córdoba,

que posee una colección de germoplasma, que carece de conocimiento de sus atributos agronómicos y nutricionales que puedan ser aprovechados en el mejoramiento genético.

La presencia de diversidad en el germoplasma de los cultivos es esencial para una mejora exitosa del cultivo (Egea-Sánchez et al., 2004). La diversidad genética limitada representa una amenaza para la supervivencia de una especie, ya que minimiza la capacidad para responder a los cambios en el clima, las poblaciones de patógenos y las prácticas agrícolas. La fuente de los recursos genéticos para el mejoramiento de los cultivos es el germoplasma disponible en los bancos de genes, y es necesario evaluar la disponibilidad de rasgos útiles para la mejora de los cultivos (Tan et al., 2012; Egbadzor et al., 2014).

La colección de germoplasma de frijol caupí de la Universidad de Córdoba cuenta con 55 entradas o accesiones, las cuales carecen de información puntual que solo puede obtenerse a través de un estudio de caracterización sistemático y profundo que aporte elementos científicos en la identificación del potencial genético almacenado en dichos materiales y que busca responder las siguientes preguntas problema: ¿Existe variabilidad genética entre las accesiones de frijol caupí del banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba? ¿Hay genotipos con características agronómicas y nutricionales interesantes que se puedan utilizar como parentales de uso potencial en un programa de mejoramiento genético de esta especie?

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 GENERALIDADES

Las plantas de caupí son anuales, trepadoras o erguidas, El número de cromosomas más común es $2n = 22$ y rara vez $2n = 20$ o 18 (Beyra y Artiles, 2004; Dos Santos, 2020); Algunos autores describen el frijol caupí como una especie con las siguientes características.

3.1.1 Morfología. El porte de la planta está determinado por la forma de los tallos, si el tallo principal presenta una inflorescencia terminal, la planta tendrá un crecimiento determinado y si el tallo no produce esta inflorescencia terminal y las inflorescencias aparecen en las axilas, la planta tendrá un crecimiento indeterminado. Existen variedades precoces o de maduración uniforme (70 días) de tipo determinado y las tardías (6 a 8 meses), de tipo indeterminado, que presentan maduración desigual, Albán (2012).

3.1.2 Partes de la planta de frijol. La planta de frijol está formada por diferentes partes, estas se describen a continuación.

3.1.2.1 Raíz. Es profunda y pivotante, tiene abundantes ramificaciones laterales, pudiendo alcanzar una longitud de 1.40 m., por lo que las plantas pueden absorber mayor cantidad de agua y nutrientes en comparación a los frijoles comunes. En sus raíces crecen los nódulos, que son protuberancias donde viven las bacterias del género *Rhizobium* que son las encargadas de fijar el nitrógeno del aire y que la planta utiliza para su nutrición. (Albán, 2012). La mayor cantidad de nitrógeno fijado por *Rhizobium*, se presenta en el periodo comprendido entre la emisión de las primeras flores y la aparición de las primeras vainas (Sánchez, 2001).

3.1.2.2 Tallos y ramas. El caupí (*V. unguiculata*) tiene un tallo caracterizado por el tallo principal de crecimiento determinado o indeterminado (Beyra y Artiles, 2004; Dos Santos, 2020). El número de entrenudos y guías o ramas laterales es variado y en los tipos indeterminados al crecer las ramas laterales tienden a enrollarse y entrelazarse. La ramificación se origina en la parte basal del tallo y comienza a los 15 o 20 días después de la

emergencia. La planta presenta diferentes hábitos de crecimiento: erecto, semierecto, postrado y semipostrado. El tamaño de la planta varía entre 25 cm. (tipos erectos) y 80 cm. (tipos semierectos). En los postrados, no se registra altura de planta. (Albán, 2012).

3.1.2.3 Hojas. El primer par de hojas es simple y opuesto; las hojas secundarias están trifolioladas y opuestas (Beyra y Artiles, 2004; Dos Santos, 2020). La forma de los folíolos puede ser lineal, lanceolada u ovalada. La orientación de las hojas es de tipo plano en las variedades cultivadas y erectas en las variedades silvestres. El área foliar se incrementa con la edad de la planta. El número de hojas producido por cada planta es alto, de ahí que el fríjol caupi pueda usarse como forraje o abono verde. En la etapa de fructificación las hojas caen, este proceso se acentúa cuando existe déficit de agua (Albán, 2012).

3.1.2.4 Inflorescencia y flor. Las flores se dan en pequeños racimos y dependiendo de la variedad, son: blancas, blancas con manchas moradas, moradas o amarillas. Presentan cinco (5) pétalos que reciben nombres específicos, un estandarte, dos alas y dos pétalos soldados que forman la quilla. Las flores son hermafroditas, por lo que son preferentemente autógamas (Albán, 2012); según (Beyra y Artiles, 2004; Dos Santos, 2020), existe una pequeña tasa de alogamia que puede ocurrir hasta a 30m de distancia, principalmente por insectos, como las abejas.

3.1.2.5 Fruto. Es una vaina lineal o encorvada que alcanza un tamaño de 10cm a 25 cm. de longitud y de 1,5cm a 3,2cm. de diámetro. Contiene de 6 a 21 granos por vaina. Las vainas pueden ser de color verde o presentar moteados púrpura o rojizo en sutura y valvas. Las valvas están adheridas al pedúnculo formando ángulos de 30° a 90°; son erectos o colgantes, dependiendo del ángulo que formen. Por su forma las vainas pueden ser derechas o presentar cierto grado de curvatura. Generalmente en cada tallo floral sólo 2 ó 3 flores se convierten en vainas y el lapso en que las semillas se desarrollan en las vainas, es de 20 días a 25 días (Albán, 2012).

3.1.2.6 Semilla. Comprende la cubierta o cáscara, los cotiledones, el embrión y el hilio u ojo de semilla. Difiere en cuanto a color pueden ser: crema, marrón rojizo, negro y en algunas variedades presentan manchas pequeñas de diferente tamaño; y en forma de aspecto redondo,

oval y cuadrada. Su textura es lisa, áspera o rugosa. El tamaño está determinado como se muestra en la tabla 1, por el peso de 100 semillas (Albán, 2012).

Tabla 1. Clasificación del tamaño de semillas de fríjol caupí según el peso de 100 semillas

Tamaño de semilla	Peso (g)*
Grande	>25
Mediano	18-25
Pequeña	<18

Fuente: Alban (2012).

3.1.3 Fenología del cultivo. Huamán (2019) y SEMICOL (2010), describen la fenología de la planta de fríjol de la siguiente manera:

3.1.3.1 Fase vegetativa. Se inicia cuando se le brinda a la semilla las condiciones para iniciar la germinación y termina cuando aparecen los primeros botones florales en las variedades de hábito de crecimiento determinado, o los primeros racimos en las variedades de crecimiento indeterminado; fase donde se desarrolla la estructura vegetativa necesaria para iniciar la actividad reproductiva de la planta; en la fase vegetativa el desarrollo de los meristemos terminales del tallo y de las ramas producen nudos en los cuales se forma complejos axilares susceptibles de un desarrollo posterior.

3.1.3.2 Fase reproductiva. Comprende entre el momento de la aparición de los botones florales o los racimos, y la madurez de cosecha; en las plantas de hábito de crecimiento indeterminado continúa la aparición de estructuras vegetativas cuando termina la denominada fase vegetativa, lo cual hace posible que una planta esté produciendo simultáneamente hojas, ramas, tallos, flores y vaina.

3.2 PRODUCCION DE FRÍJOL CAUPÍ EN EL MUNDO

En el 2019 el área cosechada a nivel mundial fue de 14.447.336 ha, con un rendimiento promedio de 616,2 kg/ha y una producción total de 8.903.329 toneladas; África produce el

96,2% del total de caupí secos del mundo, Niger posee 5.725.433 ha sembradas, siendo el de mayor área dedicada al cultivo con producción de 2.386.735 toneladas mientras Nigeria es el mayor productor con 4.303.005 ha y 3.576.361 toneladas (FAOSTAT, 2020). Cerca de dos tercios de la producción mundial y más de tres cuartos del área de producción se extienden sobre la sabana de Sudán y las zonas del Sahel de África. En Suramérica, Brasil es el mayor productor con 1.276.200 ha para 2018/19, con una producción de 637.700 toneladas (Dos santos, 2020; CONAB, 2019).

3.3 EL CULTIVO DE FRÍJOL CAUPI EN COLOMBIA

Según FENALCE (2004), En Colombia se pueden encontrar principalmente las especies, *Vigna angularis*, *Vigna unguiculata* y *Vigna radiata*. Su producción se concentra principalmente en la región Caribe (90%), (FENALCE, 2013).

El fríjol caupí es una especie cultivada en toda la región Caribe; Según Martínez Reina et al. (2020), la mayor área cultivada se concentra principalmente en los departamentos del Cesar (59,5%), Córdoba (19%) y La Guajira (16,6%), especialmente en los municipios de Barrancas (16%) Montería (26%), Dibulla (6%), Río de Oro (16%), San Juan del Cesar (6%) y Valledupar (29%), siendo este último municipio el que mayor proporción de productores de fríjol caupí registró (29%); También indican que el rendimiento promedio es de 1,1 t ha⁻¹, superior a los 0,6 t ha⁻¹ reportados para Colombia en 2017, (Araméndiz et al., 2017), el cual podría aumentar con la incorporación de prácticas sostenibles que tiendan a conservar la calidad de los suelos (Martínez Reina et al., 2020). Este producto es de mucha importancia en la región caribe, ya que forma parte de sus hábitos alimenticios y se utiliza bien como cultivo de rotación o asociado con maíz, ñame y yuca, (FENALCE, 2013).

Araméndiz –Tatis et al. (2019), señalan que el caupí es la leguminosa más importante cultivada en el Caribe colombiano, con un área aproximada de 14,000 ha. Actividad que se realiza bajo sistemas de producción agropecuaria familiar con condiciones de manejo agronómico variable del suelo y el clima, que tienen un impacto en el comportamiento diferencial de las variedades cultivadas Araméndiz –Tatis et al. (2019). Por esta razón, en un

programa de mejora genética, es de gran importancia conocer el comportamiento de los materiales en condiciones ambientales de campo, en parcelas de productores.

3.4 CARACTERIZACIÓN

La caracterización morfológica consiste en el registro de aquellas características que son altamente hereditarias, que pueden ser fácilmente observables a simple vista y que se expresan en todos los ambientes (Egea et al., 2004). En la caracterización molecular de una especie se estima la variabilidad existente en el genoma de la población de individuos que la conforman (Ruiz-Hernández et al., 2018; Piñero, 2008). Un descriptor confiable deberá permitir la distinción entre accesiones diferentes de un mismo cultivo, debe ser práctico, útil y debe evitar redundancia además debe ser ambientalmente estable, mono u oligogénico y de fácil manipulación para el fitomejorador. (Melo, 2010). La caracterización de recursos fitogenéticos requiere del manejo y análisis de un gran número de mediciones sobre cada accesión del germoplasma; razón por la cual, es usual la utilización de métodos multivariados, ya que estos permiten el análisis de las accesiones incluyendo múltiples características de manera simultánea y sin dejar de considerar la relación existente entre ellas. Generalmente, la caracterización de germoplasma involucra el registro de variables de naturaleza cuantitativa y cualitativa (Correa et al., 2019).

Kinhoégbè et al. (2020), caracterizaron morfoagronómicamente 50 accesiones de Guandú [*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh], basados en 23 características (12 cualitativos y 11 cuantitativos). Utilizaron el análisis de conglomerados para las características cualitativas y para los caracteres cuantitativos, utilizaron el análisis de componentes principales; obteniendo 8 clases morfológicas con el análisis de conglomerados mientras que en el análisis de componentes principales solo se obtuvieron 5 conglomerados.

Castillo et al. (2020), realizaron la caracterizaron morfoagronómica en 93 accesiones de garbanzo, mediante caracteres morfoagronómicos cuantitativos, reportando a través del análisis de conglomerados la conformación de tres grupos diferenciados por las variables peso de 100 semillas, altura de planta, número de vainas y semillas por planta. En el análisis

de componentes principales se encontró que las tres primeras componentes principales explicaron el 66% de la variación total, concluyendo la existencia de variabilidad en todos los caracteres estudiados.

Alvares Bianchi et al. (2020), Reportaron la caracterización morfoagronómica de 55 accesiones de *Capsicum chinense* de cuatro regiones diferentes de Brasil y una de Perú. Esta se hizo con base a 37 variables, Los descriptores cualitativos se analizaron mediante un estadístico descriptivo, mientras que los descriptores cuantitativos se analizaron mediante la prueba de F en el análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias significativas en los valores medios se separaron mediante la prueba de Scott-Knott a $\alpha = 0.05$. Los valores de las 37 variables agronómicas se utilizaron para el análisis de agrupación basado en la distancia de Gower; para el agrupamiento se usó el método UPGMA. El dendrograma obtenido mostró la distinción de seis grupos.

3.4.1 Caracterización morfológica. La caracterización morfológica de los recursos fitogenéticos es esencial para el conocimiento de la variación fenotípica y las relaciones entre los genotipos. (Carvalho et al., 2016). Una de las fases más importantes en programas de mejoramiento genético es la selección de genotipos con las características deseadas, para lo cual es esencial hacer uso del conocimiento del germoplasma disponible (Melo, 2010); La mayoría de estos datos se puede obtener con el uso de descriptores, los cuales constituyen un atributo o carácter observado en las accesiones de un banco de germoplasma y que pueden ser identificables y medibles (Melo et al., 2011).

Costa (2010), en Teresina, Brasil, evaluó divergencia genética en 57 accesiones de frijol caupí, en este trabajo se analizaron 26 variables multicategóricas, basados en descriptores del IPGRI (1983), con modificaciones y marcadores moleculares; se empleó análisis univariado y multivariado, con disimilaridad obtenida por medio de la distancia de Mahalanobis y el método de agrupamiento UPGMA; se formaron cuatro grupos de genotipos, siendo IT89KD-245 el genotipo más divergente a partir de las variables cuantitativas; las características que

más contribuyeron a la divergencia fueron peso de 100 granos (49,7%), longitud de la vaina (16,7%), longitud del grano (12,0%), y número de granos por vaina (9,7%).

Carvalho et al., (2016), caracterizaron morfoagronómicamente 32 accesiones de fríjol caupí en Portugal, mediante los descriptores del IBPGR basados en 17 características, seis cualitativas y once cuantitativas; utilizando análisis de componentes principales y análisis de agrupamiento por el método UPGMA. El dendrograma basado en los parámetros cuantitativos agrupó las 32 accesiones en tres grupos. El Clúster I con tres accesiones, (Ac2 Ac3 y el testigo Ac31). En el cluster II se agruparon nueve accesos, (Ac5, Ac6, Ac7, Ac8, Ac10, y la variedad Fradel obtenida por INIAV / Elvas (Ac4). El cluster III se subdividió en dos subgrupos: el subgrupo III.1, solo con la accesión Ac9 y el subgrupo III.2 que incluyó las 19 restantes. Los dos primeros componentes principales explicaron el 95,18% de la variación total, siendo el número de semillas por planta y la producción los dos parámetros que más contribuyeron a la separación del eje 1, mientras que la altura de la planta y el número de semillas por planta fueron los que más contribuyeron al eje 2.

Martos – Fuentes et al., (2016), caracterizaron morfológicamente y nutricionalmente 19 accesiones de caupí en España, usando el descriptor del IBPGR (1983); La media del contenido en proteína osciló entre 14,8% y 23,6% del total del peso seco de la semilla, indicando que el contenido de proteína es significativamente diferente entre los distintos cultivares.

Ndengoloka (2017), evaluó 42 líneas de caupí (16 de Angola y el resto de otras regiones del mundo), con el fin de comparar la diversidad fenotípica del germoplasma, los parámetros adaptación general, fenología, hábito de crecimiento, componentes del rendimiento, y las características de la semilla de caupí fueron evaluados según el descriptor de (Bioversity International, 2007), mientras el contenido de proteínas se determinó empleando el método microkjeldahl; %. Se encontró diversidad fenotípica entre las líneas de germoplasma para rendimiento de semilla y características de valor agronómico, nutricional y económico, ya que cuatro variedades de caupí de Angola produjeron rendimientos que superaron los 1,000

kg/ha. Y otros que contienen mayores niveles de hierro y zinc en la semilla. Así mismo, los valores de proteína en la semilla variaron entre 21 y 33%.

Morales – Morales et al. (2019), evaluaron las características morfológicas y nutricionales de 15 genotipos de frijol caupí de la Península de Yucatán, México; Las variables cualitativas se midieron con base en el descriptor del IBPGR (1983). Se evaluaron tres variables morfológicas cualitativas, 10 variables cuantitativas y se determinó el contenido de potasio, calcio, manganeso, hierro y zinc, mediante μ -fluorescencia de rayos-X. A los datos se les realizó un análisis de varianza y de componentes principales. Los resultados indicaron altos niveles de diversidad fenotípica en las colectas estudiadas que se agruparon con base en sus características físicas y no por su lugar de origen.

Gerrano et al. (2015), estimaron la de variabilidad fenotípica entre una colección de 25 genotipos de caupí, a través de la evaluación de 16 marcadores fenotípicos descritos por el IBPGR (1983), encontraron que las diferencias entre los genotipos fueron muy significativas para todos los rasgos. Esto indicó el alto nivel de variabilidad genética entre los genotipos de caupí estudiados. Los primeros cinco componentes principales mostraron 79,30% de la variabilidad total entre los genotipos. La longitud de la vaina, el área foliar, el índice del área foliar y el número de semillas por planta contribuyeron al primer componente; El número de hojas, la altura de la planta, la biomasa seca y la biomasa fresca contribuyeron al segundo componente. El análisis de conglomerados de los rasgos fenotípicos dio como resultado cinco grupos distintos de genotipos.

Ribeiro et al. (2019), caracterizaron 20 genotipos de frijol caupí en cuatro localidades del estado de Mato Grosso do Sul en Brasil, evaluando siete variables, las cuales fueron analizadas a través de los métodos de optimización de Tocher y UPGMA; siendo la distancia generalizada de Mahalanobis escogida como medida de disimilitud. Los métodos de agrupamiento revelaron variabilidad genética entre los genotipos de caupí evaluados; Los métodos utilizados formaron un número diferente de grupos para cada entorno, Los resultados indicaron que los genotipos TE97-309G-24, MNC99-542F-5, BRS Paraguaçu,

BRS Paraguaçu, BR 17-Gurguéia y CNC x 409-11F-P2 pueden usarse para obtener combinaciones prometedoras y una alta variabilidad genética.

Gerrano et al. (2019), evaluaron 22 genotipos de caupí en dos localidades de Sudáfrica, utilizando 11 rasgos agronómicos para seleccionar padres prometedores para desarrollar una población de mejores rendimientos; los resultados hallados indicaron diferencias significativas en todas las variables evaluadas, los genotipos TVU13953 y 98K-5301 tuvieron el rendimiento de grano más alto (1,48 y 1,42 t ha⁻¹), El análisis de componentes principales (PCA) identificó cuatro componentes principales (PC) que contribuyen al 73,62% de la variación total explicada entre los genotipos probados. Los genotipos de caupí seleccionados para la mayoría de las características agronómicas son recursos genéticos útiles y candidatos para el desarrollo de la población reproductora en el mejoramiento de caupí y una mayor producción y productividad para la alimentación y la nutrición de ese país.

Nkhoma (2019), evaluó 100 genotipos de caupí en africa durante la temporada de cultivo 2017/2018, los datos se obtuvieron de seis rasgos cualitativos y ocho cuantitativos siguiendo los descriptores del IBPGR (1983). El análisis de componenetes principales indicó que los tres primeros componentes representaron el 71,25% de la variación total exhibida por los rasgos cuantitativos evaluados, el primer componente principal, representó el 31,5%, mientras que los componentes 2 y 3 contribuyeron con el 20,97 y el 18,78%, respectivamente. Los rasgos de mayor contribución con el primer componente fueron longitud de la vaina (0,84), número de semillas por vaina (0,82), rendimiento de grano (0,75) y número de vainas por planta (0,72). Las cargas en PC2 fueron contribuidas principalmente por días a floración (0,84) y días a maduración (0,87), mientras que peso de cien semillas (0,80) y tamaño de semilla (0,78) tuvieron las mayores contribuciones a la variación correlacionada con tercer componente.

Nkoana et al. (2019), evaluaron 13 variables incluyendo rendimiento y sus componentes en 22 accesiones de fríjol caupí en Sudáfrica, Se observaron diferencias altamente significativas entre las accesiones para todos los rasgos. El rendimiento de grano por hectárea se correlacionó positiva y significativamente con el número de vainas por planta y el rendimiento de grano por planta mostrando oportunidad para la mejora simultánea del

rendimiento y las características relacionadas con el rendimiento. El biplot del análisis de componentes principales reveló que las accesiones Acc2024, Acc5352, Acc2355, Acc4565, Glenda y L-cwp3 fueron las accesiones genéticamente más divergentes y pueden emplearse como líneas parentales en la hibridación para lograr una población de segregación transgresiva en los programas de reproducción.

Walle et al. (2019), evaluaron el alcance y patrón de la diversidad morfológica entre los genotipos de caupí e identificaron los rasgos que contribuyen a la diversidad genética mediante análisis multivariados en Etiopía. Se evaluaron 18 características cuantitativas según el descriptor del IBPGR (1983). El análisis de componentes principales reveló que los primeros siete componentes explicaron el 77% de la variación total. Casi todos los rasgos probados fueron contribuyentes importantes a la variabilidad en la primera Componente. El análisis de agrupamiento basado en rasgos cuantitativos reveló seis grupos distintos con un nivel de similitud del 90%. La agrupación de genotipos no siguió patrones de origen geográfico, lo que indicó que no hay relación entre la distribución genética y geográfica. El rango de distancia intra e inter clúster fue de 6,08 a 22,72 unidades y de 17,37 a 41,62 unidades, respectivamente. Por lo tanto, la alta distancia genética exhibida dentro y entre los grupos debe explotarse mediante el cruce y la selección de los padres más divergentes para el futuro programa de reproducción de caupí.

3.4.2 Caracterización nutricional. Se encarga de determinar el contenido de aquellos elementos que componen un producto, en nuestro caso los aspectos que resultan de gran importancia son proteínas, hierro y zinc. La deficiencia de hierro es la más extendida en el mundo, genera fatiga, disminución de la productividad y desarrollo cognitivo desbalanceado. La búsqueda de materiales ricos en este elemento es importante para satisfacer las necesidades humanas, especialmente en regiones con indicadores altos de anemia. (Araméndiz-Tatis et al., 2016).

El zinc (Zn) es un elemento traza esencial para las plantas, los animales y los seres humanos; por consiguiente, su deficiencia afecta el crecimiento y el desarrollo de estos. Se estima que

entre 15% y 30% de la población humana en el mundo exhiben deficiencias de Zn. (Márquez-Quiroz et al., 2018).

Según Janna y Hanna, (2018), en un estudio realizado en niños menores de cinco años en el departamento de córdoba reportaron que el 69 % de la muestra tuvo algún tipo de anemia por deficiencia de micronutrientes como hierro, cinc y vitamina A, que se podría corregir eliminando malos hábitos alimentarios, y optimizando la calidad de la nutrición y la educación de padres, niños y cuidadores.

3.4.2.1 Determinación de proteínas por el método de Kjendahl. Según Carvalho et al. (2016) y García Martínez y Fernández Segovia (2012). El contenido proteínico de los alimentos puede determinarse por diversos métodos, la forma más habitual es su cuantificación de forma indirecta y aproximada o bien deduciendo su cantidad a partir del contenido de uno de sus aminoácidos particulares que conforman la proteína, este segundo método conlleva a una mayor inexactitud, el método Kjendahl se basa en la determinación del nitrógeno, este método se utiliza hace más de 100 años en una amplia gama de muestras entre las que se encuentran alimentos, bebidas, forrajes, fertilizantes, suelos y aguas residuales. La proteína obtenida por este método se denomina proteína bruta o total.

El método se divide en tres etapas (digestión o mineralización, destilación y valoración). En la primera, el nitrógeno proteico se transforma en sulfato de amonio por acción del ácido sulfúrico y el calor, existen digestores automáticos que permiten realizar este procedimiento a varias muestras simultáneamente (Martos –Fuentes et al., 2016). En la etapa siguiente se alcaliniza la muestra digerida y el nitrógeno se desprende en forma de amoníaco y este a su vez es destilado con ácido bórico. La cuantificación del nitrógeno amoniacal se realiza por medio de una volumetría ácido-base del ion borato formado, para esto se emplea ácido clorhídrico o sulfúrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo metilo y azul de metileno, donde los equivalentes de ácido consumidos corresponden a los equivalentes de amoníaco destilados.

Los cálculos para obtener el porcentaje de proteína se realizan al multiplicar el porcentaje de nitrógeno calculado por el factor de conversión 6,25 tabulado para vegetales. García Martínez

y Fernández Segovia (2012). Martos – Fuentes et al. (2016), determinaron el contenido de proteínas de 19 accesiones de caupí en España, con el método Kjeldahl. La media del contenido en proteína osciló entre 14,8 y 23,6% del total del peso seco de la semilla, indicando que el contenido de proteína es significativamente diferente entre los distintos cultivares.

3.4.2.2 Determinación de minerales, hierro (Fe) y zinc (Zn). Araméndiz et al. (2016). Para determinar el contenido de hierro y zinc en fríjol caupí prepararon las muestras siguiendo el protocolo descrito a continuación: lavar las semillas con agua desionizada; posteriormente someter a secamiento en estufa de circulación forzada (Binder – Kasai, Tuttlingen, Alemania) a 70°C por 72 horas. Seguidamente, las semillas de cada cultivar fueron molidas y pasadas por un tamiz de 1 mm para obtener fracciones más pequeñas y nuevamente se sometieron a un secado total por 12 horas, para luego se almacenaron en recipientes de plástico herméticamente cerrados. El contenido de minerales se determinó a partir de una muestra de 1 g de cada cultivar, sometida a una digestión nítrico-perclórica (3:1), a través de un calentamiento gradual hasta una temperatura de 350°C. La cuantificación se hizo por espectrofotometría de absorción atómica de llama, en un equipo Perkin Elmer 3110 (Norwalk, Connecticut, USA), Fernández y Sánchez, (2017). Durante el Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de fríjol consumidas en México, emplearon la espectrofotometría de absorción atómica mediante la digestión de cada una de las muestras con ácido nítrico (HNO₃) y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) dentro de un horno microondas (START D), para el análisis de la concentración de varios nutrientes, entre ellos: Fe, Zn, Na, Mg, Mn, K, Ca, Cu y N, y se expresaron en ppm los micronutrientes y porcentaje los macronutrientes.

En la región Caribe de Colombia se han desarrollado estudios de caracterización nutricional en granos de varios genotipos de fríjol Caupí, por ejemplo: (De Paula et al., 2016; De Paula et al., 2018), determinaron contenidos de proteína, zinc, hierro y fósforo en 43 genotipos del programa de mejoramiento genético de la Universidad de Córdoba, encontrando variabilidad en el contenido de minerales de los genotipos, destacando los materiales L042 y L020 como los de mayor contenido de hierro con 177,90% \pm 122,20 y 166,44 \pm 101,62 respectivamente;

mientras que el fósforo el mayor contenido lo tuvo el testigo (Criollo córdoba $5,69\pm0,38$) , por otro lado el contenido de proteína fluctuó entre $22,06\pm0,82\%$ (L038) y $26,90\pm1,76\%$ (LCPM35), con valor promedio de 24.76%, demostrando una excelente calidad nutricional.; el contenido de zinc no mostró diferencias significativas entre los genotipos evaluados.

Fernández y Arroyo, (2019), evaluaron nueve líneas y un testigo comercial, en Cereté - Córdoba; concluyeron que en los contenidos nutricionales, el mayor contenido de hierro lo mostró el material LC-005-006 con $62,40 \text{ mg kg}^{-1}$, en contenidos de zinc no hubo diferencia entre los tratamientos (el contenido fue de 45 a 46 mg kg^{-1}) y en proteína la mayor concentración se obtuvo en la línea LC-036-016 con 28.50 %.

Morelo Zumaqué y Otero Pérez, (2018), evaluaron 10 materiales en Sampués – Sucre. Para contenidos de hierro, zinc y porcentaje de proteína, encontraron diferencias significativas y altamente significativas para las dos primeras, con contenidos entre $52,859 \text{ mg kg}^{-1}$ y $60,125 \text{ mg kg}^{-1}$ para hierro y valores entre $38,15 \text{ mg kg}^{-1}$ y $45,82 \text{ mg kg}^{-1}$ para contenido de zinc, en cuanto al porcentaje de proteínas no se encontraron diferencias significativas, sin embargo, se resaltan los genotipos tuvieron buenos porcentajes que oscilaron entre 25,30% y 24,95%.

Ballesteros Martínez (2018), evaluó 10 genotipos de caupí en Polo Nuevo – Atlántico, sus resultados indicaron que en lo referente a contenidos de hierro, la línea LC-006-016, tuvo el valor más alto del estudio ($71,47 \text{ mg.kg}^{-1}$), el contenido de zinc fluctuó entre $40,45 \text{ mg.kg}^{-1}$ y $47,35 \text{ mg.kg}^{-1}$, destacándose los genotipos LC-002-016, L-019, LC-036-016 y LC-009-016 que acusaron valores superiores a $45,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ el contenido de proteína estuvo entre 24,65% y 28,66%, siendo los genotipos LC-029-016 y LC-009-016, los que superaron la barrera del 28,0%.

3.5 ANALISIS MULTIVARIADO USADO EN ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONOMICA

Franco e Hidalgo (2003), afirman que el origen del análisis multivariado se remonta a los comienzos del siglo XX, con Pearson y Sperman, que empezaron a introducir los conceptos de la estadística moderna. Las bases definitivas de este tipo de análisis se establecieron en la década 1930-1940 con Hotelling, Wilks, Fisher, Mahalanobis y Barlett. En términos

generales, el análisis multivariado se refiere a todos aquellos métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas múltiples (más de dos variables) de cada individuo. En la caracterización de recursos fitogenéticos, el análisis multivariado se puede definir como un conjunto de métodos de análisis de datos que tratan un gran número de mediciones sobre cada accesión del germoplasma. Su principal virtud consiste en permitir la descripción de las accesiones tomando en cuenta simultáneamente muchas características, sin dejar de considerar la relación existente entre ellas Nuñez-collin y Escobedo-López, (2014), afirman que este tipo de metodologías son utilizadas con distintos objetivos y cada una requiere ciertos supuestos estadísticos o modificaciones para poder emplearse. Los principales objetivos de los métodos multivariados son:

- Hacer clasificaciones. Es el principal objetivo de la caracterización de recursos genéticos vegetales (aunque no el único). Agrupamiento (análisis clúster), sino también con otras metodologías, como los análisis factoriales (análisis en componentes principales, análisis de correspondencias simples y múltiples, análisis en coordenadas principales o análisis por factores).
- Selección de variables. Algunas metodologías multivariadas permiten discriminar o seleccionar variables para evitar repetir información con más de una variable o para eliminar variables (características) que no aporten a la caracterización. Estructuración de la varianza. Muchos de los métodos multivariados se basan en la estructura de la varianza de todas y cada una de las variables evaluadas, por lo que con esta técnica se puede predecir cuáles variables aportan más a la variación total de las unidades básicas de caracterización y se puede saber entonces cuáles son las variables y las unidades básicas de caracterización más variantes dentro de la caracterización. Comparación de grupos. Otra de las funciones de los métodos multivariados es la comparación de grupos. El fin último es tener grupos preestablecidos y compararlos tanto en su variación con otros (variación intergrupos) como la variación dentro del mismo en comparación con los demás (variación intragrupo), para detectar las diferencias que presentan y poder caracterizar al grupo.

Según Bertini et al. (2010), varias técnicas multivariadas pueden aplicarse en el estudio de la divergencia genética. Entre estas técnicas, las más empleadas son: el análisis por componentes principales, cuando los datos se obtienen de experimentos sin repeticiones; el análisis por variables canónicas, cuando los datos se obtienen de experimentos con repeticiones; y los métodos de agrupación, cuya aplicación depende de la utilización de una medida de disimilaridad previamente estimada. Existen además los análisis factoriales tales como el de coordenadas principales (Acop) y el análisis factorial de correspondencias simple (AFC), que se utilizan de acuerdo con el tipo de datos que se van a evaluar (Nuñez-collin y Escobedo-López, 2014).

Cruz y Regazzi, (2001) recomiendan la utilización de la distancia Euclidiana y el análisis de componentes principales en las evaluaciones de accesos de bancos de germoplasma, pues no siempre se dispone de repetición, dificultando la cuantificación de la influencia del ambiente que actúa sobre las constituciones genéticas. Sin embargo, la distancia de Mahalanobis puede ser estimada sólo cuando el diseño experimental contempla repetición, permitiendo la cuantificación de los efectos del ambiente sobre las constituciones genéticas (Santos et al. 2014; Cargnelutti Filho et al., 2010)

3.5.1 Análisis de Componentes Principales. Según Díaz y Morales (2012). El análisis de componentes principales (ACP), es un método estadístico esencialmente descriptivo, tiene como objetivo la estructuración de un conjunto de datos multivariados, mediante la reducción del número de variables. Esta es una metodología de tipo matemático para la cual no es necesario asumir distribución probabilística alguna. La técnica de análisis por componentes principales es una metodología para la reducción de datos, ésta transforma el conjunto de variables originales en uno más pequeño, las cuales son combinaciones lineales de las primeras, que contienen la mayor variabilidad presente en el conjunto inicial. De otra manera se trata de reducir la redundancia de información mostrada por las variables. Los objetivos principales del ACP, son los siguientes: i) Generar nuevas variables que expresen la información contenida en un conjunto de datos. ii) Reducir la dimensión del espacio donde están inscritos los datos. iii) Eliminar las variables (si es posible) que aporten poco al estudio del problema. iv) Facilitar la interpretación de la información contenida en los datos.

Este tipo de análisis tiene como propósito central, la determinación de unos pocos factores (componentes principales), que retengan la mayor variabilidad contenida en los datos. Las nuevas variables poseen algunas características estadísticas deseables tales como independencia y no correlación. En el caso de no correlación entre las variables originales el ACP no tiene mucho que hacer, pues las componentes se corresponderían con cada variable, por orden de magnitud en la varianza, es decir, la primera componente coincide con la variable de mayor varianza, la segunda componente con la variable de segunda mayor varianza y así sucesivamente.

El análisis de componentes principales está compuesto por dos métodos interrelacionados e igualmente importantes. El primero es el cálculo de los índices de similitud o de disimilitud entre pares de unidades básicas de caracterización; Estos índices deben ser aplicados de acuerdo con la naturaleza de los datos y el objetivo de la caracterización, y el segundo es la aplicación del método de aglomeración adecuado, Este procedimiento es utilizado para datos cuantitativos y mixtos, mayormente cuantitativos; se deben evitar datos binomiales. (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2011).

3.5.2 Analisis de variables canónicas. El análisis de variables canónicas es una alternativa cuando se dispone de datos experimentales con réplicas y se puede estimar el coeficiente de ponderación de las variables originales en cada una de las variables canónicas y sus varianzas (Dos Santos et al., 2016).

3.5.3 Análisis de coordenadas principales (ACOP). El Acop es una modalidad de los análisis factoriales que se usa exclusivamente para datos binomiales. Se trata de una transformación de un índice de similitud mediante la distancia de Gower en una matriz cuadrada, que hace a su vez de matriz de varianzas y covarianzas, se obtienen sus valores y sus vectores propios (eigenvalues y eigenvectors) y se usa únicamente para tener una representación bi o tridimensional de las unidades básicas de caracterización en un plano reducido para datos binomiales, principalmente de huellas genómicas de marcadores dominantes (Nuñez-Collin y Escobedo-López, 2014).

3.5.4 Análisis factorial de correspondencias simple (AFC). El AFC presenta el mismo principio del ACP, pero con una transformación de datos con base en distribución χ^2 . Está desarrollado para datos multinomiales (Nuñez-Collin y Escobedo-López, 2014).

3.5.5 Análisis de conglomerados (Cluster). Conglomerado es un conjunto de objetos que poseen características similares. La palabra conglomerado es la traducción más cercana al término “cluster”, otros sinónimos son clases o grupos. En biología se habla de familia o grupo para hacer referencia a un conjunto de plantas o animales con características en común (Díaz y Morales (2012). Franco e Hidalgo (2003), lo definen como un método analítico que se puede aplicar para clasificar las accesiones de un germoplasma (o variables) en grupos relativamente homogéneos con base en alguna similitud existente entre ellas.

El análisis de conglomerados busca dividir un conjunto de objetos en grupos, de tal forma que los individuos en un mismo grupo sean similares y los objetos de grupos diferentes sean disímiles (Díaz y Morales, 2012). Así, el análisis de conglomerados tiene como objetivo principal definir la estructura de los datos colocando las observaciones más parecidas en grupos.

En taxonomía vegetal, el análisis de conglomerados se usa para identificar especies con base en algunas características morfológicas, fisiológicas, químicas, etológicas, ecológicas, geográficas y genéticas. Dos son los elementos requeridos en este tipo de análisis, el primero es la medida que señale el grado de similitud entre los objetos, el segundo es el procedimiento para la formación de los grupos o conglomerados. En la Tabla 2, se relacionan varios índices de similitud que se pueden emplear en estudios de caracterización de germoplasma.

Tabla 2. Índices de similitud empleados en caracterización de germoplasma para análisis multivariado.

Tipo de coeficiente	Coeficiente	Propiedades	Tipo de datos
Distancia	Euclidiana	Refleja distancias absolutas	Cuantitativos, continuos y discretos
	Manhattan	Refleja distancias absolutas, funciona mejor que la distancia euclidiana para matrices con muchas variables	
	Taxonómica	Penalizan por el numero de variables utilizadas	
	Diferencia de carácter promedio		
	Canberra	Las diferencias entre las especies más abundantes contribuyen más a la similitud que las diferencias entre las especies raras	
	Mahalanobis	Penaliza por el desvío estándar de las variables utilizadas	
	cao	Útil para sitios con poco sesgo, baja similitud y distintas intensidades de muestreo	Cuantitativos discretos
	Chi cuadrado	Tiene en cuenta las abundancias relativas. Las diferencias entre las especies más abundantes contribuyen más a la similitud que las diferencias entre las especies raras	
Asociación	Emparejamiento simple	Las concordancias y discordancias contribuyen de igual manera a la similitud	Binarios
	Rogers y Tanimoto	Las discordancias contribuyen en mayor medida a la similitud que las concordancias	
	Sokal y Sneath	Las concordancias contribuyen en mayor medida a la similitud que las discordancias	
	Rusell y Rao	Las ausencias compartidas son un elemento en contra de la similitud	
	Jaccard	Las ausencias compartidas no son tenidas en cuenta para el cálculo de la similitud	

Continuación (Tabla 2). Índices de similitud empleados en caracterización de germoplasma para análisis multivariado.

Asociación	Dice - Sorensen	Da mayor peso a las presencias compartidas de Jaccard	Binarios
	Simpson	Dos unidades experimentales anidadas o iguales tienen similitud máxima	
	Kulczynski	Penalizan las discordancias	
	Hamman		
	Bray – Curtis	Las ausencias compartidas no son tenidas en cuenta para el cálculo de la similitud. Tiene en cuenta los valores absolutos	Cuantitativos y binarios
	Morisita - Horn	Tiene en cuenta los valores relativos	
	Morisita	Tiene en cuenta los valores relativos. Es casi independiente del tamaño muestral, excepto para muestras muy pequeñas. Es uno de los más recomendados	Cuantitativos
	Gower	Único que admite datos nominales, multiestado y ordinales	Cuantitativos y cualitativos
Correlación	Pearson	Analiza la relación lineal (positiva, negativa o nula) entre las unidades experimentales	Cuantitativos

Fuente: Palacio et al., (2020)

Antes de usar alguna de las medidas anteriores, se debe encontrar el conjunto de variables que mejor represente el concepto de similitud, bajo el estudio a desarrollar. Para la aplicación de esta técnica también se debe considerar la necesidad de estandarizar las variables, su transformación, o la asignación de un peso o ponderación para el cálculo de la medida de similitud y la conformación de conglomerados. Las medidas de uso más frecuente son: La distancia euclidiana, la distancia D^2 de Mahalanobis, también llamada distancia generalizada, otra muy común es la de Manhattan y finalmente la medida de Minkowski (Díaz y Morales, 2012).

3.5.6 Métodos de agrupamiento jerárquico. Los métodos jerárquicos: empiezan con el cálculo de la matriz de distancias entre los objetos. Se forman grupos de manera aglomerativa o por un proceso de división. Una de las características de esta técnica es la localización irremovible de cada uno de los objetos en cada etapa del mismo. Con los procedimientos aglomerativos cada uno de los objetos empieza formando un conglomerado (grupos unitarios). Grupos cercanos se mezclan sucesivamente hasta que todos los objetos quedan dentro de un mismo conglomerado. Los métodos de división inician con todos los objetos dentro de un mismo conglomerado, éste es dividido luego en dos grupos, éstos en otros dos hasta que cada objeto llega a ser un conglomerado. Ambos procedimientos se resumen en un diagrama de árbol que ilustra la conformación de distintos grupos, de acuerdo con el estado, de fusión o división, jerárquico implicado por la matriz de similaridad; este diagrama se conoce con el nombre de dendograma.

Los pasos para seguir para una clasificación jerárquica son:

1. Decidir qué datos tomamos para cada uno de los casos. Generalmente se deben tomar varias variables, todas del mismo tipo (continuas, categóricas, etc.) porque es difícil mezclar tipos distintos.
2. Elegir la medida de la distancia entre los objetos a clasificar, que serán las clases iniciales.
3. Se buscan los grupos que son similares
4. Se juntan estos dos grupos en un nuevo conglomerado, que tenga al menos dos objetos, de forma que el número de clases disminuye en una unidad.
5. Se calcula la distancia entre este nuevo grupo y el resto. No es necesario recalcular todas las distancias, solamente las del nuevo grupo con los anteriores.
6. Se repiten desde el paso 3 hasta que todos los objetos estén en un único grupo.

Los distintos métodos o algoritmos (Tabla 3), dependen del método utilizado en el paso 5 para calcular la distancia entre grupos. Es necesario resaltar que los distintos métodos para el cálculo de las distancias entre grupos producen distintas clasificaciones, por lo que no existe una clasificación correcta única (Díaz y Morales, 2012).

Tabla 3. Métodos de agrupamiento jerárquico más utilizados en caracterización de germoplasma

Nombre del método	Forma de rehacer la matriz	Tipo de representación	Autor
Simple	Vecino más cercano	Jerárquicos y no jerárquicos	Sokal y Michener (1958)
Completo	Vecino más lejano	Jerárquicos y no jerárquicos	Sorensen (1948)
UPGMA	Media aritmética no ponderada	Jerárquicos y no jerárquicos	Sokal y Michener (1958)
WPGMA	Media aritmética ponderada	Jerárquicos y no jerárquicos	Mc Quitty (1966)
UPGMC	Centroide aritmetico	Jerárquicos	Edwards y Cavalli-Sfoza (1965)
WPGMC	Mediana aritmetica	Jerárquicos	Gower (1967)
FLEXIBLE β	Mediante el cálculo empírico de un coeficiente de error β	Jerárquicos	Williams y Lambert (1966)
Ward	Varianzas mínimas	Jerárquicos	Ward (1963)

Adaptado de Nuñez – Collin y Escobedo- Lopez, (2011)

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar morfoagronómica y nutricionalmente la colección de frijol caupí de la colección de germoplasma de la Universidad de Córdoba, mediante la utilización de descriptores morfológicos y agronómicos para un mejor aprovechamiento de dichos recursos por el programa de mejoramiento genético.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar las accesiones con base a sus características morfológica, fenológica, contenido de hierro, zinc y proteína.

Determinar agrupamiento genético de genotipos evaluados de acuerdo con sus afinidades genéticas.

5. REFERENCIAS

- Agbogidi, O. M. (2010). Screening six cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). for adaptation to soil contaminated with spent engine oil. *Academia Arena*, 2 (4), 33-40.
- Albán, M. (2012). *Manual de cultivo de frijol caupí*. Piura, Perú: ASPROMOR. Recuperado de: http://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/CAUPI.pdf
- Alonso, B. O., Rovir, R. F., Vegas, C. A., y Pedrosa, M. M. (2010). Papel de las leguminosas en la alimentación actual. *Actividad dietética*, 14 (2), 72-76.
- Alvares Bianchi, P., Almeida da Silva, L. R., André da Silva Alencar, A., Henrique Araújo Diniz Santos, P., Pimenta, S., Pombo Sudré, C., Dalla Corte, L. E., Azeredo Gonçalves, L. S y Rodrigues, R. (2020). Biomorphological Characterization of Brazilian Capsicum Chinense Jacq. Germplasm. *Agronomy*, 10 (3), 447. Doi:10.3390/agronomy10030447
- Araméndiz–Tatis, H., Espitia–Camacho, M., y Cardona–Ayala, C. (2019). Adaptation and stability of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) bean cultivars in the tropical dry forest of Colombia. *Australian Journals Crop Science*, 13 (06), 1009-1016. Doi: 10.21475/ajcs.19.13.06.p1965
- Araméndiz–Tatis, H., Espitia–Camacho, M., y Cardona–Ayala, C. (2017). Adaptabilidad y estabilidad fenotípica en cultivares de fríjol caupí en el caribe húmedo colombiano. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 15 (2), 14-22. Doi://dx.doi.org/10.18684/bsaa(v15)EdiciónEspecialn2.574
- Aramendiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C. E., y Combatt-Caballero, E. M. (2016). Contenido nutricional de líneas de fríjol caupí (*Vignia unguiculata* (L.) Walp) Seleccionadas de una Población Criolla. *Información Tecnológica*, 27 (2), 53-60. Doi: 10.4067/S0718-07642016000200007

Araméndiz-Tatis, H., Espiitia -Camacho, M., y Sierra Naranjo, C. (2011). Comportamiento agronómico de líneas promisorias de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) en el valle del sinú. *Temas agrarios*, 16 (2), 9-17.

Asare, A. T., Gowda, B. S., Galyuon, I. K., Aboagye, L. L., y Timko, J. F. (2010). Assessment of the genetic diversity in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). germplasm from Ghana using simple sequence repeat markers. *Plant Genetic Resources*, 8 (2), 1-9. DOI:10.1017/S1479262110000092

Ballesteros Martínez, N. (2018). *Evaluacion de 10 genotipos de frijol caupí (Vigna unguiculata* (L) Walp). *Por características agronómicas y nutricionales en el municipio de Polonuevo – Atlantico*. (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba. Montería. Colombia.

Bertini, C. H. C. D. M., Almeida, W. S. D., Silva, A. P. M. D., Silva, J. W. L., y Teofilo, E. M. (2010). Multivariate analysis and selection index for identification of cowpea genotypes. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32 (4), 613-619. DOI:10.4025/actasciagron.v32i4.4631

Beyra, A.; Artiles, G. R. (2004). Revisión taxonómica de los géneros Phaseolus y Vigna (Leguminosae-Papilionoideae) en Cuba. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 61 (2), 135-154.

Cargnelutti Filho, A., Ribeiro, N. D., & Burin, C. (2010). Consistência do padrão de agrupamento de cultivares de feijão conforme medidas de dissimilaridade e métodos de agrupamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45 (3), 236-243.

Carvalho, M., Castro, I., Matos, M., Lino-Neto, T., Silva, V., Rosa, E., y Carnide, V. (2016). Caracterização agro-morfológica de acessos de feijão frade (*Vigna unguiculata* (L.) Walp): bases para o melhoramento. *Revista de ciências agrárias*, 39 (4), 506-517. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16091>

Castillo, V., Collavino, N.G., Farfan, E.C., Carreras, J., Fekete, A.C., y Pocovi, M. (2020). Caracterización de accesiones de garbanzo (*Cicer arietinum* (L.)) mediante descriptores morfo agronómicos cuantitativos en una colección del Banco de Germoplasma de la

Universidad Nacional de Córdoba. *RIA*, 46 (2), 166. <http://ria.inta.gob.ar/contenido/ria-46-no-2-agosto-2020>

Companhia nacional de abastecimento - CONAB. Séries históricas. Recuperado de: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-dassafras?start=20>. (Acesso: 2-12- 2020).

Correa, E. M., León, R. I., Lobato, M. A., García, M. A., Muñoz, C. G., y Araméndiz, H. (2019). Caracterización morfoagronómica de la colección de germoplasma de ají dulce (*Capsicum spp.*) del caribe colombiano. *Temas Agrarios*, 24 (2), 81-95. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.1998>

Costa, E. (2010). *Divergencia genética entre linhagens africanas de feijao-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp) A través de caracterización morfoagronómica e molecular*. (Tesis de maestría), Universidad Federal Rural de Pernambuco. Recife. Brasil.

Cruz, C. D., y Regazzi, A. J. (2001). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa. Brasil. UFV.

De-Paula, C., Jarma-Arroyo, S., y Aramendiz-Tatis, H. (2018). Caracterización nutricional y determinación de ácido fítico como factor antinutricional del frijol caupí. *Agronomía mesoamericana*, 29 (1), 30-41. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27941>

De-Paula, C., Jarma, S., y Aramendiz-Tatis, H. (2016). Caracterización nutricional y sensorial de frijol caupí (*Vigna unguiculata (L.) Walp.*). *Agronomía colombiana*, 34 (1supl.), s1131-s1134. Doi: 10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58322

Díaz, M., y Morales, M. (2012). *Análisis estadístico de datos multivariados*. Universidad Nacional De Colombia. Bogotá.

Dos Santos, C. (2020). *Caracterização morfoagronômica, fenológica e viabilidade polínica de genótipos de feijão*. (Tesis de maestría) Universidade do estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado. Mato Grosso. Brasil.

- Dos Santos, A., Ceccon, G., Davide, L. M. C., Luiz Neto Neto, A., Silva, J. F. da, y Alvares, R. de C. F. (2016). Integrated multivariate analysis to identify superior cowpea genotypes. *Comunicata Scientiae*, 7 (2), 223-231. <https://doi.org/10.14295/cs.v7i2.643>
- Egbadzor, K., Ofori, K., Yeboah, M., Aboagye, L., Opoku-Agyeman, M., Danquah, E., y Offei, S. (2014). Diversity in 113 cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) accessions assessed with 458 SNP markers. *Springerplus*, 3 (541), 1-15. Doi:10.1186/2193-1801-3-541
- Egea-Sánchez, J., Martínez, P., y Egea-Fernández, J. (2004). Variedades locales de judías de la región de Murcia como base para la producción ecológica. El caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Agroecología*, 1(1), 89-97.
- FAOSTAT. (2020). Obtenido de. Estadísticas sobre producción de cultivos.: <http://faostat.fao.org/> (Acceso 13-03- 2021).
- FAO. (2016). Semillas nutritivas para un futuro. Obtenido de <http://www.fao.org/pulses-2016/news/news-detail/es/c/431518/>. (Acceso: 5-08-2017)
- Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas - FENALCE. (2018). Área, producción y rendimientos de cereales y leguminosas en Colombia. Información semestral por producto y por departamentos (2002 - 2017). Recuperado de <http://www.fenalce.org/alfa/pg.php?pa=60>. (Acceso 10-10-2019)
- Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas - FENALCE. (2014). Situación actual y perspectivas del cultivo de frijol. Departamento de Información Económica y Estadística. Obtenido de <http://www.fenalce.org/archivos/situacfrijol2015.pdf> (Acceso 20-07-2018).
- Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas - FENALCE. (2013). Situación del frijol en Colombia. Recuperado de http://www.fenalce.org/unev a/plantillas/arch_down_load/Presentacion_Frijol.pdf (Acceso 20-07-2018).
- Fernández Gómez, W y Arroyo Rosales, F.L. (2019). *Evaluación de 10 genotipos de frijol caupí (Vigna unguiculata (L) Walp.) por características agronómicas y nutricionales en el*

municipio de Cereté – Córdoba. (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba. Montería. Colombia.

Fernández Valenciano, A. F., y Sánchez Chávez, E. (2017). Estudio de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova scientia*, 9 (18), 133-148.

Franco, T. L. e Hidalgo, R. (eds.). (2003). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia.

García Martínez, E., y Fernández Segovia, I. (2012). Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/16338> (Acceso 14 de agosto de 2018).

Gerrano, A. S., Adebola, P. O., Jansen, W. S., y Laurie, S. M. (2015). Genetic variability in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes. *South African Journal of Plant and Soil*, 32 (3), 1–10. DOI: 10.1080/02571862.2015.1014435

Gerrano, A. S., Jansen van Rensburg, W. S., y Kutu, F. R. (2019). Agronomic evaluation and identification of potential cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes in South Africa. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 69 (4), 295-303. DOI: 10.1080/09064710.2018.1562564

Guillén, A., Palacios, A., Zamora, S., Ortega, R., y Espinoza, J. (2016). Efecto de la competencia intraespecífica en el crecimiento y producción del yorimón (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Interciencia*, 41 (5), 353-356.

González, J. (2019). Diversidad genética neutral y adaptativa, una simple explicación. *Ciencia e investigacion forestal*, 25 (1), 81- 98.

Huamán Pérez, E. (2019). Influencia de dos fuentes de materia orgánica enriquecidas con microorganismos eficientes (EM) en la producción del cultivo de Frijol Caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] en un inceptisols de Pucallpa. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa – Perú

IBPGR. (1983). Descriptors for cowpea. International Board for Plant Genetic Resources, Roma.

Janna, N y Hanna, M (2018). Desnutrición en la población infantil de 6 meses a 5 años en Ayapel, Córdoba (Colombia). *Revista Colombiana de Enfermería*, 13 (16), 25-31. DOI: <http://dx.doi.org/10.18270/rce.v16i13.2301>

Jida, Z., y Alemu, S. (2019). Genetic Diversity Analysis of Ethiopian Elite Chickpea (*Cicer arietinum* (L.)) Varieties Based on Agronomic Characters. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 11 (3), 80-86. DOI: 10.5897/JPBCS2018.0767

Kinho&egbè, G. E., Djèdatin, G., Loko, L. E. Y., Agbo, R. I., Saxena, R. K., Varshney, R. K., Agbangla, C y Dansi, A. (2020). Agro-morphological characterization of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) landraces grown in Benin: Implications for breeding and conservation. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 12 (1), 34-49 p. DOI: 10.5897/JPBCS2019.0836.

Márquez-Quiroz, C., De La Cruz-Lázaro, E., Estrada-Domínguez, V., Osorio-Osorio, R., y Sánchez-Chávez, E. (2018). Biofortification of cowpea beans (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) with zinc: effect on yield and mineral content. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9 (20), 4175-4185.

Martínez Reina, A. M., Tordecilla Zumaqué, L., Grandett Martínez, L. M., Rodríguez Pinto, M. V., Cordero Cordero, C .C., y Tofiño Rivera, A. P. (2020). Caracterización Fríjol Caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): perspectiva socioeconómica y tecnológica en el Caribe colombiano. *Ciencia y Agricultura*, 17 (2), 12-22. DOI: 10.19053/01228420.v17.n2.2020.10644

Martos-Fuentes, M., Sánchez-Navarro, V., V, R.-H., Weiss, J., Egea-Gilabert, C., Zornoza, R., Faz, A., Fernández, J.A y Egea-Cortines, M. (2016). Estudio del contenido en proteína en diferentes accesiones de caupí bajo distintas condiciones de cultivo. *Anuario de jóvenes investigadores* (9), 113-115.

Melo, R. (2010). *Caracterizacao morfo-agronômica e molecular, processamento mínimo e utilizacao de raios X em sementes de feijao-caupí (Vigna unguiculata (L.) Walp.)*. (Tesis doctoral). Piracicaba. Brasil.

Melo, R., Shirahige, F., Melo, A., Purquerio, F., Wanderley Junior, L., Menezes, D., y Melo, P. (2011). Caracterização morfo-agronômica de genótipos de feijão-caupi. *Horticultura Brasileira*, 29 (2), 3365-3372.

Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2019). Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/AlimentosBalanceados/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales%20Fr%C3%ADjol.pdf> (Acceso 05 de julio de 2020).

Morales-Morales, A. E., Andueza-Noh, R. H., Márquez-Quiroz, C., Benavides-Mendoza, A., Tun-Suarez, J. M., González-Moreno, A., y Alvarado-López, C. J. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de la península de Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6 (18), 463-475. DOI: 10.19136/era.a6n18.2171

Morales-Morales, A. E., De la Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., Sánchez Chávez, E., Montemayor Trejo, A., y Márquez-Quiroz, C. (2016). Contenido mineral y rendimiento de germinados de frijol caupí biofortificados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (17), 3415-3425.

Morelos-Zumaqué, M.C y Otero-Pérez, M.A. 2018. *Evaluación de 10 genotipos de fríjol caupí (Vigna unguiculata (L.) Walp.) Por sus características agronómicas y nutricionales en el municipio de Sampués-Sucre*. (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba. Montería. Colombia.

Ndengoloka, D. A.N. (2017). Estudio de la diversidad fenotípica de germoplasma de Caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de Angola y un grupo de germoplasma que representa otras regiones del mundo. *Ntetembwa - Revista Académica do ISPT*. 1 (1), 133-183.

- Nkoana, D.K., Gerrano, A. S y Gwata, E.T. 2019. Agronomic performance and genetic variability of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) accessions. *Legume Research, international journal* 42 (6), 757-762. DOI: 10.18805/LR-450
- Nkhoma, N., Shimelis, H., Laing, M., Shayanowako, A., y Mathew, I. (2020). Assessing the genetic diversity of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) germplasm collections using phenotypic traits and SNP markers. 1 – 34. DOI: 10.21203/rs.3.rs-26693/v1
- Nunez-Collin, C. A y Escobedo-Lopez, D. (2014). Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos (review). *Acta agrícola y pecuaria*, 1 (1): 1-6.
- Nunez-Collin, C. A y Escobedo-Lopez, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía. Mesoamericana* .22 (.2), 415-427.
- Palacio, F.X., Apodaca, M .J., y Crisci, J.V. (2020). Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R / - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina. Vazquez Mazzini Editores.
- Pérez, J. O., y d'Eeckenbrugge, G. C. (2017). Morphological characterization in the genus *Passiflora* L.: an approach to understanding its complex variability. *Plant Systematics and Evolution*, 303 (4), 531-558. DOI 10.1007/s00606-017-1390-2
- Piñero, D. (2008). La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. In: *capital natural de México*, (1) 437-494.
- Ribeiro, G., Viera, L., Gouvea, N., & Rodriguez, F. (2005). Variabilidade genética em acessos de caupí analisada por meio de marcadores RAPD. *Pesquisa agropecuaria brasileira*, 40 (4), 353-359.
- Ribeiro, L. P., Evangelista, J. S. P. C., Damacena, M. B., Elizeu, A. M., Coelho, I. F., Rodrigues, E. V., Teodoro, P.E., y Bhering, L. L. (2019). Estimates of genetic divergence in cowpea by multivariate analysis in different environments. *Bioscience Journal* 35(6), 1681-1687. DOI: 10.14393/BJ-v35n6a2019-42406

- Ruiz Hernández, V. C., Solano, L., Porfirio, J., Sahagún Castellanos, J., y de la O Olan, M. (2018). Variabilidad genética en algunas especies cultivadas y silvestres de amaranto. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9 (2), 405-416.
- Ruiz Ruiz, N. J. (2018). Mortalidad por desnutrición en menores de cinco años. Pobreza y desarrollos regionales. Colombia. 2003-2012. *Economía, Sociedad y Territorio*, 28 (56), 35-75. DOI: <http://dx.doi.org/10.22136/est20181077>
- Sánchez, N. (2001). El cultivo del frijol caupí, producción, almacenamiento y utilización. Manual de capacitación tecnológica DARCO, PRONATTA. 1-32 p.
- Santos, J., Teodoro, P., Correa, A., Soares, C., Ribeiro, L., y De Abreu, H. K. (2014). Desempenho agrônômico e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. *Bragantia*, 73 (4), 377-382. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0250>
- SEMICOL. 2010. Frijol arbustivo Caupí. Ficha técnica frijol Caupí o cabecita negra (*Vigna unguiculata* (L) “arbustiva”. Variedad seleccionada SEMICOL.
- Tan, H., Huang, H., Tie, M., Ma, J., y Li, H. (2013). Comparative Analysis of Six DNA Extraction Methods in Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Journal of Agricultural Science*, 5, (7), 82-90. Doi:10.5539/jas.v5n7p82
- Tan, H., Tie, M., Luo, Q., Zhu, Y., Lai, J., y Li, H. (2012). A Review of Molecular Markers Applied in Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) (Review) Breeding. *Journal of Life Sciences* 6, (11), 1190-1199.
- Tshovhote, N. J., Nesamvuni, A. E., Raphulu, T., y Gous, R. M. (2003). The chemical composition, energy and amino acid digestibility of cowpeas used in poultry nutrition. *South African Journal of Animal Science*, 33(1), 65-69.
- Vargas, Y., y Villamil, O. (2012). *Caracterización físicoquímica y nutricional de la harina de frijol caupí (Vigna unguiculata (L.) Walp) cultivado en el departamento del Tolima*. (Tesis de pregrado). Universidad del Tolima. Ibagué. Colombia.

Vargas-Vázquez, M. L. P., Muruaga-Martínez, J. S., Pérez-Herrera, P., Gill-Langarica, H. R., Esquivel-Esquivel, G., Martínez-Damián, M. Á., Rosales-Serna, R., y Mayek-Pérez, N. (2008). Caracterización morfoagronómica de la colección núcleo de la forma cultivada de frijol común del INIFAP. *Agrociencia*, 42 (7), 787-797.

Walle, T., Mekbib, F., Amsalu, B., y Gedil, M. (2019). Genetic diversity of Ethiopian cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp) genotypes using multivariate analyses. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences*, 29 (3), 89-104.

Wamalwa, E., Muoma, J., y Wekesa, C. (2016). Genetic Diversity of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) Accession in Kenya Gene Bank Based on Simple Sequence Repeat Markers. *International Journal of Genomics*, 2016, 1-5.
<http://dx.doi.org/10.1155/2016/8956412>

CAPITULO II

CARACTERIZACIÓN MORFO AGRONÓMICA Y NUTRICIONAL DE 30 GENOTIPOS DE FRÍJOL CAUPÍ [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.] DE LA COLECCIÓN DE GERMOPLASMA DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

RESUMEN

Basados en descriptores morfo agronómicos, fueron caracterizados 30 genotipos de frijol caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], de la colección de germoplasma de la Universidad de Córdoba; Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con 30 tratamientos y cuatro repeticiones, cada unidad experimental tuvo un área de 4 m²; El experimento fue establecido en el periodo 2018/II y 2019/I en la vereda Rusia del municipio de Cereté. Se evaluaron 36 características en total, 21 variables morfológicas de tipo cualitativo, y 15 variables cuantitativas, las variables morfológicas se analizaron empleando cálculo de frecuencia a partir de la moda y el análisis de los descriptores cuantitativos se realizó a partir del promedio y los cuadrados medios arrojados por el anova que mostró diferencias significativas entre tratamientos excepto para la longitud del pedicelo, de esta manera el análisis exploratorio excluyó 8 descriptores declarados no discriminantes, 7 de naturaleza cualitativa y uno cuantitativo, por lo que el análisis multivariado se realizó con 28 caracteres (14 de cada tipo); Con base en estos resultados, fue posible comprobar variabilidad genética en los caracteres de tipo cualitativo, donde el color del grano y el patrón de pigmentación de la flor expresaron mayor variabilidad fenotípica en campo, también se presentaron genotipos no susceptibles a *Fusarium* y de hábito de crecimiento erecto que pueden ser muy útiles en un programa de mejoramiento genético y se identificó la accesión MNC05-828-C-3-15, como candidata para mejorar el vigor de otras accesiones de la colección por ser la única con plantas muy vigorosas; el análisis de componentes principales, explicó el 83,21% de la variación con nueve componentes e identificó las variables número de granos por vaina, número de vainas por pedúnculo, contenido de hierro, forma del grano, hábito de crecimiento, curvatura de la vaina, días a floración y contenido de zinc, como las más discriminantes para frijol Caupí, también evidenció la existencia de cultivares con atributos agronómicos favorables como los genotipos LC-006-016 y caupí nuevo, que mostraron altos contenidos de hierro (89,52 mg.kg⁻¹), zinc (62,00 mg.kg⁻¹) y proteína (24%), dando posibilidad de desarrollar nuevos cultivares biofortificados al incrementar la calidad nutricional de los mismos y contribuir a mitigar los problemas de hambre oculta.

Palabras clave: diversidad genética, análisis multivariado, recursos fitogenéticos.

ABSTRACT

Based on morpho-agronomic descriptors, 30 genotypes of cowpea beans [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] Were characterized, from the germplasm collection of the University of Córdoba; An experimental design of complete random blocks was used, with 30 treatments and four repetitions, each experimental unit had an area of 4 m²; The experiment was established in the period 2018 / II and 2019 / I in the Russian village of the municipality of Cereté. A total of 36 characteristics were evaluated, 21 qualitative morphological variables, and 15 quantitative variables, the morphological variables were analyzed using frequency calculation from the mode and the analysis of the quantitative descriptors was performed from the mean and the mean squares. Thrown by the anova that showed significant differences between treatments except for the length of the pedicel, in this way the exploratory analysis excluded 8 descriptors declared non-discriminating, 7 qualitative in nature and one quantitative, so the multivariate analysis was carried out with 28 characters (14 of each type); Based on these results, it was possible to verify genetic variability in the qualitative type characters, where the grain color and the flower pigmentation pattern expressed greater phenotypic variability in the field, there were also genotypes not susceptible to *Fusarium* and habit of erect growth that can be very useful in a genetic improvement program and the accession MNC05-828-C-3-15 was identified as a candidate to improve the vigor of other accessions in the collection as it is the only one with very vigorous plants; The principal component analysis explained 83.21% of the variation with nine components and identified the variables number of grains per pod, number of pods per peduncle, iron content, grain shape, growth habit, curvature of the pod , days to flowering and zinc content, as the most discriminating for cowpea beans, also evidenced the existence of cultivars with favorable agronomic attributes such as the LC-006-016 and new cowpea genotypes, which showed high iron content (89.52 mg .kg⁻¹), zinc (62.00 mg.kg⁻¹) and protein (24%), giving the possibility of developing new biofortified cultivars by increasing their nutritional quality and helping to mitigate hidden hunger problems.

Keywords: genetic diversity, multivariate analysis, plant genetic resources.

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización morfológica de los recursos fitogenéticos es muy importante para su conservación, también para el conocimiento de la variación fenotípica, las relaciones entre genotipos y la identificación de parentales con características de interés para la obtención de nuevos materiales genéticos, siendo esta información fundamental en el desarrollo de programas de mejoramiento (Vargas-Vásquez et al., 2008; Carvalho et al., 2016; Garnica et al., 2020).

El género *Vigna* pertenece a la familia Fabaceae, que comprende más de 200 especies distribuidas en el mundo, las de mayor importancia agrícola son *V. radiata*, *V. mungo*, *V. angularis*, *V. subterranea*, *V. aconitifolia*, *V. umbellata* y *V. unguiculata*. Esta última especie a nivel mundial se conoce como frijol caupí, y su centro de origen es África. Se cultiva principalmente en regiones tropicales y subtropicales del mundo y constituye una fuente importante de proteínas, fibra dietética, carbohidratos, vitaminas, nutrimentos esenciales y fitoquímicos en la dieta humana. (Morales – Morales et al., 2016; Morales-Morales et al., 2019), el caupí posee otras particularidades, es de ciclo corto en nuestro medio y muestra tolerancia tanto a sequía como a las altas temperaturas (Tshoyhote et al., 2003). A pesar de lo anterior, es una especie prevalentemente autógama y su base genética se considera estrecha (Wamalma et al., 2016), La fuente de los recursos genéticos para el mejoramiento de los cultivos es el germoplasma disponible en los bancos de genes y las colecciones de germoplasma, es necesario entonces, evaluar la disponibilidad de rasgos útiles para la mejora de los cultivos (Tan et al., 2012; Egbadzor et al., 2014), esto, a través de la caracterización morfoagronómica para disminuir el riesgo de que varios de estos materiales entren en desuso aumentando el riesgo de erosión genética.

Según FENALCE (2004), en Colombia se pueden encontrar las especies, *Vigna angularis*, *Vigna radiata* y *Vigna unguiculata*. La producción del caupí se concentra en un 90% en la región Caribe, (FENALCE, 2013); 14,000 ha es el área aproximada cultivada, debido a esto, es la leguminosa más importante del Caribe colombiano, En esta región, el cultivo se realiza

bajo sistemas de producción agropecuaria familiar con condiciones de manejo agronómico variable del suelo y el clima, que tienen un impacto en el comportamiento diferencial de las variedades cultivadas; algunos de los problemas que afectan la competitividad de este cultivo son: el bajo rendimiento (600 kg ha^{-1}), comparado con los 1,835 y $1,379 \text{ kg ha}^{-1}$ obtenidos en los Estados Unidos y Perú, respectivamente (Araméndiz-Tatis, Espitia-Camacho y Cardona-Ayala, 2019), más si se tiene en cuenta que el potencial de cultivo estimado es de $\sim 6,000 \text{ kg ha}^{-1}$, (De Sousa Monteiro et al., 2017). Esto se debe al uso de cultivares obsoletos, acompañado de semillas no certificadas y déficit hídrico, dicho panorama obedece al rezago tecnológico del sector agropecuario, ya que muchos cultivos perdieron su dinámica de investigación, registrándose una brecha tecnológica en el país (Araméndiz-Tatis et al., 2017), por lo expuesto anteriormente, Colombia no es autosuficiente en la producción de fríjol; Según cifras del ministerio de agricultura (2019), en el país se sembraron un total de 92.476 hectáreas de fríjol en 2018, con una producción de 113.887 toneladas y un rendimiento promedio de $1,23 \text{ t ha}^{-1}$, mientras en fríjol caupí el área aproximada es de 14,000 ha, con rendimiento promedio de 600 kg ha^{-1} , (Araméndiz, Espitia y Cardona, 2019), sumado a esto, el consumo entre 2014 y 2018, pasó de 2,7 a $3,4 \text{ kg/hab.}$ (FENALCE, 2014; FENALCE, 2018). Lo cual obliga al país a importar esta leguminosa desde el Perú, según Araméndiz-Tatis et al., (2020) y FENALCE, (2017), se importaron 14.894 toneladas para satisfacer la demanda nacional, hecho que genera salidas de divisas y reducción de las actividades agrícolas de economía campesina, con posterior migración a la ciudad alimentando el desempleo y generando cinturones de miseria por la pobreza.

Los estudios para discriminar la variabilidad genética a través de descriptores morfológicos y agronómicos son importantes para conocer las discrepancias y uso potencial de las accesiones en un programa de mejoramiento, especialmente cuando se carece de recursos logísticos y económicos para hacerlo molecularmente. Algunos de los caracteres evaluados con frecuencia en este tipo de estudios son la altura de planta, forma del foliolo apical, hábito de crecimiento, color de la flor, color de la vaina, color del grano, textura del grano, días a floración, número de nudos en el tallo principal, número de vainas por planta, número de vainas por pedúnculo, número de lóculos por vaina, número de granos por vaina, largo y

ancho del gano, rendimiento y contenidos de nutrientes tales como hierro, cinc, proteínas, entre otros (Carvalho et al., 2016; Costa, 2010; Morales-Morales et al., 2019).

Según Franco e Hidalgo, (2003), Los datos se pueden analizar mediante el empleo de métodos simples o complejos, que van desde el uso de gráficos y estadísticos de tendencia central y dispersión hasta los multivariados. El análisis tiene el propósito de reducir el volumen de información característico en trabajos de esta naturaleza; los estadísticos simples Permiten estimar y describir el comportamiento de las diferentes accesiones en relación con cada carácter, los más comunes son el promedio, el rango de variación, la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV), que se utilizan en el análisis de datos cuantitativos. Estos se deben realizar antes de cualquier análisis multivariado, ya que proporcionan una idea general de la variabilidad del germoplasma y permiten inmediatamente detectar datos no esperados y errores de medición en el ingreso de datos, entre otros.

Los métodos de análisis de datos multivariados permiten un estudio global de estas variables, poniendo en evidencia las conexiones, similitudes o diferencias entre ellas, con mínimas pérdidas de información. Al pronosticar la divergencia genética, se pueden aplicar diferentes métodos multivariados. Entre estos métodos, los más utilizados son: análisis de componentes principales (ACP), análisis de variantes canónicas (VC), análisis factorial de datos mixtos (AFDM), el cual conjuga las técnicas de análisis de componentes principales y análisis de correspondencias múltiples (ACM) y métodos de análisis de conglomerados (AC), (Dos santos et al., 2016). En la tabla 4, se relacionan estudios desarrollados por varios investigadores en el mundo, en los cuales se han empleado este tipo de metodologías en diversas especies.

Tabla 4. Estudios de diversidad analizados por métodos multivariados.

Autor y Año	País	Especie	Método Empleado
Gerrano et al, 2015	Sudáfrica	Caupí	ACP
Gerrano et al., 2019	Sudáfrica	Caupí	ACP y AC
Nkoana et al., 2019	Sudáfrica	Caupí	ACP
Walle et al., 2019	Sudáfrica	Caupí	ACP y AC
Mofokeng et al., 2019	Sudáfrica	Caupí	ACP y Correlaciones
Yao et al., 2019	África	Coco	ACP, Discriminante y AC
Carvalho et al., 2016	Portugal	Caupí	ACP, AC Y Correlaciones

Continuación (Tabla 4). Estudios de diversidad analizados por métodos multivariados.

Autor y Año	País	Especie	Método Empleado
Martos- Fuentes et al., 2016	España	Caupí	Comparaciones multiples
Jida y Alemu., 2019	Etiopía	Garbanzo	ACP y Correlaciones
Kinhoégbé, 2020	Benín	Guandú	ACP, AC y Correlaciones
Molina et al., 2019	Cuba	Ñame	AC
Castillo et al., 2020	Argentina	Garbanzo	ACP
Dos santos et al 2016	Brasil	Caupí	ACP, AC (distancia de Mahalanobis) y VC
Dos Santos, 2020	Brasil	Caupí	AC (UPGMA y Tocher)
Ribeiro et al., 2019	Brasil	Caupí	AC (Tocher – distancia de Mahalanobis)
Santana et al., 2019	Brasil	Caupí	AC (UPGMA)
Álvarez Bianchi et al., 2020	Brasil	Ají	Correlaciones Pearson, AC (GOWER y UPGMA)
Costa, 2010	Brasil	Caupí	Disimilaridad con distancia de Mahalanobis y AC
Melo et al., 2011	Brasil	Caupí	Análisis discriminante
Morales- Morales et al ., 2019	México	Caupí	ACP
Espinosa et al., 2016	Colombia	Mora	ACP y AC
Ocampo y d’Eeckenbrugge, 2017	Colombia	Passifloraceas	ACP y AC
Franco e Hidalgo, 2003	Colombia	Fríjol común	ACP y AC
Pardey et al., 2016	Colombia	Maiz	ACP discriminante
Moreno 2017	Colombia	Maiz	ACP y AC
Correa et al., 2019	Colombia	Ají Dulce	AC (Gower)
Ospino et al ., 2020	Colombia	Cacao	ACP y AC
Garnica et al ., 2020	Colombia	Ajonjolí	AFDM y AC (Ward)

Como se puede ver en la lista, los estudios de caracterización a través de análisis multivariado son pocos en Colombia y los existentes, se han realizado en especies diferentes al caupí, la mayor aproximación es un estudio en fríjol común, que no es propio del Caribe colombiano, Por lo que cobra importancia, desarrollar investigaciones encaminadas a satisfacer esta necesidad del país y la región Caribe; la colección del programa de mejoramiento genético de fríjol caupí lo amerita a fin de tener un mejor aprovechamiento de sus recursos. El objetivo del presente trabajo de investigación fue Caracterizar 30 accesiones de fríjol caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], con base en sus características morfológica, fenológica, contenido de hierro, zinc y proteína.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

Esta investigación se realizó durante el segundo semestre del año 2018 en la finca la coquera, de la vereda Rusia, del municipio de Cereté – Córdoba, perteneciente al Caribe húmedo, cuyas coordenadas son 8°54'45''N y 75°48'33''W. En esta zona, las precipitaciones oscilan entre 1200 y 1400 mm anuales, la temperatura promedio es de 27.2°C y la humedad relativa es de 82%; Los suelos de esta zona se denominan inceptisoles; físicamente, son muy arcillosos, pesados, muy pegajosos y oscuros, se agrietan cuando se secan, y son muy fértiles (Palencia et al., 2006). El ensayo ocupó 960 m² de área, y cada unidad experimental fue de 4 m², en los cuales se ubicaron 20 plantas.

2.2 VARIABLES E INDICADORES

2.2.1 Variables independientes. Se evaluaron 30 genotipos de frijol caupí de la colección de la especie obtenidos por el programa de mejoramiento genético de la Universidad de Córdoba, los cuales se relacionan en la tabla 5.

Tabla 5. Nombre y origen geográfico de las accesiones de frijol caupí para caracterización morfoagronómica y nutricional

Nº	NOMBRE	ORIGEN	Nº	NOMBRE	ORIGEN
1	Caupí Negro	Colombia	16	BRS Tumucumaque	Brasil
2	Caupí Calamarí	Colombia	17	BRS Jurua	Brasil
3	Caupíca M-11	Colombia	18	Caupí Brasil-2016	Brasil
4	Caupí Cuarentano	Colombia	19	MNC05-828C-3-15	Brasil
5	Caupí Provinciano	Colombia	20	Judio Blanco	México
6	Caupí Betancí	Colombia	21	24135	UNK
7	Criollo Córdoba	Colombia	22	Caupícor 50	Colombia
8	L-CP-M-35	África	23	310 L 019	Colombia
9	L-CP-M-37	África	24	102 LC 006-016	Colombia
10	BRS Milenium	Brasil	25	Momposino	Colombia
11	IT 86	Brasil	26	Mono Largo	Colombia
12	TVU 382	Brasil	27	Mano de Tigre	Colombia
13	Gurgueia	Brasil	28	Guajiro	Colombia
14	BRS Guariba	Brasil	29	Capisuna	Colombia
15	BRS Potengi	Brasil	30	"Nuevo"	Colombia

2.2.2 Variables dependientes. Las variables de respuesta del estudio se evaluaron teniendo en cuenta los descriptores propuestos por el IBPGR (1983), estas se detallan en la tabla 6.

Tabla 6. Variables evaluadas para caracterización de 30 accesiones de caupí.

Variables cualitativas, forma y época de evaluación	Clase	Descripción
1. VIGOR: Relacion altura de planta y diámetro de follaje (D.F) en 10 plantas al azar de cada genotipo (2 semanas dds)	3	No vigoroso (Altura < 37 cm y D.F < 75 cm)
	5	Intermedio (Altura > 37 cm o D.F > 75 cm)
	7	Vigoroso (Altura > 37 cm y D.F > 75 cm)
	9	Muy vigoroso (Altura > 50 cm y > 1 m)
2. COLOR DE LA FLOR: se evaluó cuando el 50% de las plantas/UE estuvo en floración.	1	Blanco
	2	Violeta
	3	Lila
	4	Otro
3. PATRON DE PIGMENTACIÓN DE LA FLOR: Fase de floración se evaluó distribución de los pigmentos en ala y estandarte de la flor En 10 plantas al azar/UE	0	No pigmentado
	1	Ala pigmentada, estandarte pigmentado claro en forma de v en la parte central
	2	Pigmentación en la orilla del ala y estandarte
	3	Ala pigmentada; estandarte ligeramente pigmentado
	4	Ala con pigmentación en el margen superior; estandarte pigmentado
	5	Completamente pigmentado
4. HABITO DE CRECIMIENTO: Se evaluó el ángulo de inserción de las ramas en el tallo en 5 plantas al azar/UE; (6 semanas dds)	6	Otros (especificar)
	1	Erecto Agudo: Ramas forman ángulo agudo con el tronco principal
	2	Erecto: Ángulo de inserción menos agudo que el anterior
	3	Semi erecto: Ramas perpendiculares al tronco principal, pero no tocan el suelo
	4	Intermedio: La mayoría de las ramas más bajas tocan el suelo
	5	Semi postrado: Ramas que alcanzan 20 o más centímetros sobre el suelo
	6	Postrado: Plantas completamente postradas, ramificación extendida por varios metros
5. PATRON DE CRECIMIENTO: Se evaluó en 5 plantas al azar evaluando ápice del tallo principal y ramas laterales (6 semanas dds)	7	Trepador
	1	Determinado: Ápice del tallo principal es reproductivo
6. FORMA FOLIOLO APICAL: se evaluaron hojas maduras de cinco plantas al azar /UE (6 semanas dds)	2	Indeterminado: Ápice del tallo principal y ramas laterales son vegetativos
	1	Globoso
	2	Sub globoso
	3	Sub alargado
	4	Alargado

Continuación (Tabla 6). Variables evaluadas para caracterización de 30 accesiones de caupí.

7. PILOSIDAD O PUBESCENCIA: Se verificó presencia o ausencia de vellos en 5 plantas/ UE (4 semanas dds)	3	Glabro
	5	Pelos cortos
	7	Pubescente
8. PIGMENTACION DE LA PLANTA: Se evaluó la distribución y coloración de los pigmentos en partes vegetativas de 5 plantas/UE (6 semanas dds)	0	Ninguna
	1	Muy ligero
	3	Moderada en la base y en el ápice del peciolo
	5	Intermedia
	7	Extensiva
9. COLOR DE LAS HOJAS: Se evaluó intensidad del color verde del follaje en 5 plantas/ UE. (6 semanas dds)	3	Verde claro
	5	Verde intermedio
	7	Verde oscuro
10. FIJACIÓN DE LA VAINA AL PEDÚNCULO: Se evaluó en 10 plantas con vainas totalmente desarrolladas/UE. Midiendo ángulo de inserción de entre la vaina y el pedúnculo	3	decumbente
	5	Ángulo de 30° a 90°
	7	Erecto
11. PIGMENTACION DE LA VAINA INMADURA: Se evaluó la distribución de los pigmentos en vainas completamente desarrolladas de 5 plantas al azar/UE	0	Ninguna
	1	Pigmentada en el ápice
	2	Suturas pigmentadas
	3	Válvulas pigmentadas y nervaduras verdes
	4	Manchas de pigmentación
	5	Uniformemente pigmentada
12. COLOR DE LA VAINA MADURA: Se registró de la coloración vainas maduras de 5 plantas/UE	6	Otros
	1	Color paja
	2	Bronce oscuro
	3	Marrón - marrón oscuro
	4	Negro o púrpura oscuro
13. CURVATURA DE LA VAINA: Se registró grado de torsión vainas maduras en cinco plantas al azar/UE, de estas.	5	Otro
	0	Derecha
	3	Ligeramente curva
	5	Curva
14. FORMA DEL GRANO: Se evaluó la forma de 10 granos/UE, comparando con los pictogramas del descriptor.	7	Enrollada
	1	Riniforme
	2	Ovoide
	3	Truncada
	4	Globosa
15. COLOR DEL GRANO: Se registró el color de 10 granos/UE, basado en las opciones relacionadas en el descriptor	5	Romboide
	0	Blanco o crema
	1	Manchado de marrón o gris
	2	Marrón, marrón claro
	3	Rojo
	4	Verde
	5	Azul en negro

Continuación (Tabla 6). Variables evaluadas para caracterización de 30 accesiones de caupí.

	6	Azul a negro manchado o marmolado
	7	Con señales pequeñas bien distribuidas
	8	Marmolado
	9	Marmolado y con signos
	10	Otro (negro)
16. TEXTURA DEL GRANO: Se determinó la textura de 10 granos/UE, comparando con las opciones del descriptor.	1	Lisa
	3	Lisa a rugosa
	5	Con arrugas (reticulado fino)
	7	Rugosa a arrugada
	9	Arrugada (arrugas gruesas)
17. SUSCEPTIBILIDAD A <i>Fusarium</i>: se evaluaron 10 plantas/UE	3	No susceptible
	5	Moderadamente susceptible
	7	Susceptible
	9	Muy susceptible
18. SUSCEPTIBILIDAD A <i>Rhizoctonia</i>: se evaluaron 10 plantas/UE	3	No susceptible
	5	Moderadamente susceptible
	7	Susceptible
	9	Muy susceptible
19. SUSCEPTIBILIDAD A <i>Sclerotium</i>: se evaluaron 10 plantas/UE	3	No susceptible
	5	Moderadamente susceptible
	7	Susceptible
	9	Muy susceptible
20. SUSCEPTIBILIDAD A AFIDOS: se evaluaron 10 plantas/UE	3	No susceptible
	5	Moderadamente susceptible
	7	Susceptible
	9	Muy susceptible
21. SUSCEPTIBILIDAD A GORGOJO: se evaluaron 10 plantas/UE	3	No susceptible
	5	Moderadamente susceptible
	7	Susceptible
	9	Muy susceptible
VARIABLES CUANTITATIVAS	UNIDAD	FORMA DE EVALUACIÓN
22. NUMERO DE DÍAS A FLORACIÓN (DAF)	Días	Se realizó cuando el 50% de las plantas presentaron flores
23. NÚMERO DE NUDOS EN EL TALLO PRINCIPAL (NTP):	Nº	Contar y registrar los nudos en el tallo principal de la planta, cuatro semanas después de la siembra en cinco plantas al azar de cada parcela.
24. LONGITUD DEL PEDICELO (LPED)	mm	Esta variable fue registrada previo a la cosecha del ensayo, midiendo la extensión de 10 pedicelos al azar en cada parcela
25. NÚMERO DE VAINAS POR PEDÚNCULO (VPED)	Nº	Se evaluó previo a la cosecha, se contó el número de vainas en pedúnculos de cinco plantas al azar de cada una de las parcelas del ensayo.
26. NÚMERO DE VAINAS POR PLANTA (VPTA)	Nº	La variable fue evaluada previo a la cosecha, para ello se procedió a contar cada vaina en cinco plantas al azar por parcela.
27. LONGITUD DE LAS VAINAS (LV)	cm	Se realizó midiendo 50 vainas de cada parcela del ensayo.

Continuación (Tabla 6). Variables evaluadas para caracterización de 30 accesiones de caupí.

28. LARGO DEL GRANO (LG)	mm	Evaluado en post cosecha, en 10 granos de cada unidad experimental, usando pie de rey digital.
29. NUMERO DE LOCULOS POR VAINA (NLV)	Nº	Evaluado en post cosecha, en 5 vainas de cada unidad experimental.
30. NUMERO DE GRANOS POR VAINA (NGV)	Nº	Evaluado en post cosecha, conteo de granos de 5 vainas de cada unidad experimental.
31. ANCHO DE GRANO (AG)	mm	Evaluado en post cosecha, en 10 granos de cada unidad experimental, usando pie de rey digital.
32. PESO DE CIEN SEMILLAS (PCS)	g	Evaluado en post cosecha, sobre granos con 14% de humedad, por tanto, fue necesario el uso de balanza digital y determinador de humedad de granos portátil.
33. RENDIMIENTO (RTO)	Kg.ha ⁻¹	Consistió en registrar el peso de todo el grano obtenido de cada parcela.
34. CONTENIDO DE HIERRO (HIER)	mg.kg ⁻¹	Se cuantificó por espectroscopia de absorción atómica, para contenido de hierro (AOAC 945.38) (AOAC, 2012).
35. CONTENIDO DE ZINC (ZINC)	mg.kg ⁻¹	Se cuantificó por espectroscopia de absorción atómica, para contenido de zinc (AOAC 969.32) (AOAC, 2012).
36. CONTENIDO DE PROTEINA (PRO)	%	Se determinó por el método de Kjeldahl, con digestión ácida (AOAC 979.09) (AOAC, 2012).

2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos fueron consignados en formatos realizados previamente, luego se creó una base de datos digital en Microsoft Excel, para su posterior procesamiento. Inicialmente, se organizaron por separado los datos de las variables cualitativas categorizadas y las variables cuantitativas, después se halló la moda a los caracteres cualitativos, para elaborar las respectivas tablas de frecuencia.

La información de los caracteres cuantitativos se procesó para obtener el promedio por repetición. Lo que siguió fue el análisis exploratorio, este ayudó a descartar los descriptores que no presentaron variación; posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANAVA) para diseño de bloques completos al azar (DBCA), utilizando el software GENES versión 1990.2020.12, desarrollado por Cruz en 2006.

El análisis de varianza descrito anteriormente utiliza el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = Efecto del i-ésimo genotipo en la j-esima repetición; μ = media general, G_i = efecto del i-ésimo genotipo, B_j = efecto de la j-esima repetición, ε_{ij} = error aleatorio, con los supuestos usuales $\varepsilon_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$ (Cruz & Regazzi, 2001).

En aquellas variables en donde los tratamientos arrojaron diferencias significativas ($P < 0,05$) se realizó la prueba de medias de Tukey, con el fin de identificar el promedio por genotipo en cada variable y verificar la diferencia estadística

Posteriormente, se desarrolló un análisis de componentes principales aplicado simultáneamente a 28 variables para obtener en su salida el grupo de caracteres con mayor poder discriminante, finalmente, se generaron gráficos en 2D de las decenas de factor de carga de los primeros tres componentes en los cuales se trazaron ejes de origen y se identificaron los puntos, los biplots resultantes se editaron para anexar el número de cada cuadrante en la figura.

2.4 PROCEDIMIENTO

El diseño experimental del ensayo fue de bloques completos al azar (DBCA), con 30 tratamientos y cuatro repeticiones. El experimento fue establecido y evaluado en una sola localidad en la vereda Rusia del municipio de Cereté, representativa para la producción del fríjol caupí en el Caribe húmedo colombiano, en el periodo 2018/II y 2019/I entre los meses de noviembre y enero de los años mencionados. El tamaño de parcela o unidad experimental (UE) fue de dos (2) surcos de 4 m de longitud, lo que da un área de 4 m², los surcos de siembra fueron separados a una distancia de 1,0 m y separación entre plantas de 0,4 m. El área experimental utilizada fue de 960 m².

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

El análisis de caracterización identificó siete características no discriminantes: pilosidad o pubescencia (glabros), fijación de la vaina al pedúnculo (entre 30 y 90°), susceptibilidad a *Rhizoctonia* (no susceptible), *Sclerotium* (no susceptible), áfidos (no susceptible), Gorgojo (no susceptible) y patrón de crecimiento (indeterminado), como reflejo de la uniformidad genética, resultados que concuerdan con los reportados por Melo et al., (2011), que encontró resultados similares para pilosidad y fijación de la vaina al pedúnculo.

3.1.1 Variables cualitativas. Los resultados de categorías por variable y la frecuencia respectiva en características cualitativas, se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Frecuencia para Características cualitativas de 30 accesiones de fríjol caupí.

CARÁCTER	CLASE	CALIFICACIÓN	FRECUENCIA	PORCENTAJE
VIGOR	3	No vigoroso	23	76,7
	5	Intermedio	6	20,0
	9	Muy vigoroso	1	3,3
HABITO DE CRECIMIENTO	2	Erecto	4	13,3
	3	Semi erecto	7	23,3
	4	Intermedio	15	50,0
	5	Semi postrado	4	13,3
PIGMENTACION DE LA PLANTA	1	Muy ligero	7	23,3
	3	Moderada en la base y en el ápice del peciolo	15	50,0
	5	Intermedia	5	16,7
	7	Extensiva	3	10,0
COLOR DE HOJAS	5	Verde intermedio	27	90,0
	7	Verde oscuro	3	10,0
FORMA DEL FOLIOLO APICAL	2	Sub globoso	2	6,7
	3	Sub alargado	20	66,7
	4	Alargado	8	26,7
COLOR DE LA FLOR	1	Blanco	8	26,7
	2	Violeta	7	23,3
	3	Lila	15	50,0

Continuación (Tabla 7.) Frecuencia para Características cualitativas de 30 accesiones de fríjol caupí.

CARÁCTER	CLASE	CALIFICACIÓN	FRECUENCIA	PORCENTAJE
PATRÓN DE PIGMENTACIÓN DE LA FLOR	0	No pigmentado	7	23,3
	1	Ala pigmentada, estandarte pigmentado claro en forma de v en la parte central	6	20,0
	2	Pigmentación en la orilla del ala y estandarte	4	13,3
	3	Ala pigmentada; estandarte ligeramente pigmentado	5	16,7
	4	Ala con pigmentación en el margen superior; estandarte pigmentado	3	10,0
	5	Completamente pigmentado	5	16,7
PIGMENTACIÓN DE LA VAINA INMADURA	0	Ninguna	9	30,0
	1	Pigmentada en el ápice	19	63,3
	2	Suturas pigmentadas	2	6,7
COLOR DE LA VAINA MADURA	1	Color paja	23	76,7
	2	Bronce oscuro	2	6,7
	3	Marrón - marrón oscuro	1	3,3
	4	Negro o púrpura oscuro	4	13,3
CURVATURA DE LA VAINA	3	Ligeramente curva	25	83,3
	5	Curva	5	16,7
SUSCEPTIBILIDAD A <i>Fusarium</i> (ver anexo 2)	3	No susceptible	20	66,7
	5	Moderadamente susceptible	9	30,0
	7	Susceptible	1	3,3
FORMA DEL GRANO	1	Arriñonada	19	63,3
	2	Ovoide	6	20,0
	5	Romboide	5	16,7
COLOR DE GRANO	0	Blanco o crema	23	76,7
	1	Manchado de marrón o gris	1	3,3
	2	Marrón, marrón claro	3	10,0
	3	Rojo	1	3,3
	4	Verde	1	3,3
	10	Otro (negro)	1	3,3
TEXTURA DEL GRANO	1	Lisa	10	33,3
	3	Lisa a rugosa	9	30,0
	5	Con arrugas (reticulado fino)	8	26,7
	7	Rugosa a arrugada	3	10,0

Los resultados indican polimorfismo en 14 de los 21 descriptores cualitativos evaluados, lo cual equivale al 66,66% de características con variabilidad entre las accesiones evaluadas. Los descriptores en que se presentaron más variantes o categorías morfológicas fueron patrón de pigmentación de la flor y color del grano, con seis alternativas cada una, resaltan una mayor evolución por acusar más alternativas. Los demás rasgos cualitativos, a pesar de ser multicategoricos, presentaron de dos a cuatro variantes en su expresión fenotípica. Varias de estas características son de interés agronómico, por ejemplo, en el vigor de la planta, descriptor en que predominan las accesiones no vigorosas e intermedias, apareció un material muy vigoroso, se trata de la accesión MNCO5-828C-3-15, este se debe usar en el mejoramiento de dicha característica, porque contiene en su información genética genes que le confieren a las plantas la formación rápida de tejidos siendo más eficientes en la competencia frente a las malezas, especialmente en las primeras etapas del cultivo. También el hábito de crecimiento es una característica de importancia agronómica, ya que hace parte de rasgos de la arquitectura de la planta que está directamente relacionada con la mecanización de labores tan importantes como la cosecha; con el germoplasma disponible se puede direccionar el mejoramiento hacia este ítem, debido a la presencia de accesiones erectas (BRS Potengi, BRS Tumucumaque, Caupí Brasil 2016 y Provinciano) y semierectas (caupica M-11, L-C-P-M-35, BRS Gurgueia, BRS Guariba y Guajiro).

De acuerdo con lo antes anotado, Franco e Hidalgo (2003), proponen que la suma de todos los individuos con sus respectivas variantes, se conoce como variabilidad genética de una especie, debido a que la población de individuos que conforman una población está bajo una continua interacción dinámica de adaptación con factores bióticos y abióticos en los que crece y por lo tanto, las mutaciones por ser fuente de nuevos genes, y recombinaciones genéticas, alimentan la variabilidad genética y con ello, la evolución de la especie.

3.1.2 Análisis de varianza de las variables cuantitativas. Los resultados del análisis de varianza acusan diferencias significativas y altamente significativas entre las accesiones en casi todos los caracteres evaluados, excepto en longitud del pedicelo, lo cual corrobora la existencia de variabilidad genética en los caracteres cuantitativos, como se observó en los

cualitativos en los materiales evaluados. Es importante resaltar que los coeficientes de variación (cv) en su gran mayoría fueron menores al 20%, lo que denota confiabilidad en la ejecución de la experimentación, con excepción del número de vainas por planta (VPTA), lo que posiblemente este sustentado en los efectos de agentes bióticos, generando daños en las mismas; Santana et al., (2019), reportaron cv similar para esta variable (21,75%).

La tabla 8 contiene estadísticas de tipo descriptivo, relacionadas a nivel general con los valores de las variables cuantitativas de este trabajo, según estas, las accesiones evaluadas tardan 36,48 días en promedio para iniciar su etapa de floración, lo que indica que materiales precoces como Calamarí, Caupica M-11, Cuarentano, Caupí provinciano, Betanci, Criollo Córdoba, L-C-P-M-35, L-C-P-M-37, BRS Milenio, Caupicor 50, L-019 etc, son insensibles al fotoperiodo como lo señalan Ishiyaku et al. (2005), lo cual constituye una ventaja agronómica, especialmente para aquellas áreas donde la precipitación es poca, dado que se facilita cosechar en menor tiempo y se favorece la rotación de cultivos. Este resultado concuerda con el reporte de 34 días, de Morelo-Zumaqué y Otero-Pérez (2018). Fernández y Arroyo, (2019), manifestaron que los días a floración en su estudio fueron 44,4. Para esta misma característica, Santos et al. (2014), reportan 50 días en promedio, mientras Carvalho et al. (2016), indica que las accesiones de su trabajo son más tardías, ya que inician la etapa de floración pasados los 70 días.

El promedio para el carácter peso de cien semillas fue de 19,43 gramos, resultados similares fueron hallados en la evaluación de 40 genotipos de caupí en Brasil por Dos santos et al., (2016), siendo 18,76 g el peso promedio reportado, aunque difieren de los valores encontrados al respecto por Santana et al., (2019), en Brasil (24,47 g), y Lazo Chorres, (2019), en Perú (21,88 g).

Los contenidos promedio de hierro, zinc y proteína fueron $56,72 \text{ mg.kg}^{-1}$, $52,73 \text{ mg.kg}^{-1}$ y 21,09% respectivamente, lo cual coincide parcialmente resultados publicados por De paula et al., (2018), quienes, reportaron contenidos de zinc entre $43,46 \pm 4,75$ y $53,38 \pm 10,81 \text{ mg}$, hierro de $59,54 \pm 24,77$ a $177,90 \pm 122,20 \text{ mg}$, y proteína entre $22,06 \pm 0,82$ y $26,90 \pm 1,76\%$.

Tabla 8. Cuadrados medios y estadísticas descriptivas para variables cuantitativas de 30 accesiones de frijol caupí.

Variable	Media	CV	D. E	Mínimo	Máximo	Varianza	CM
DAF (días)	36,48	5,89	2,39	35,00	47,00	5,73	27,53**
NTP (N°)	6,44	13,71	1,82	3,00	9,00	3,32	2,67**
VPTA (N°)	13,38	24,65	0,14	6,00	27,00	0,02	24,15**
VPED (N°)	1,86	18,78	1,97	1,00	3,00	3,89	0,20*
LVA (cm)	16,75	5,31	0,12	12,50	24,90	0,01	16,33**
LPED (mm)	1,68	27,82	0,69	0,97	3,00	0,47	0,27ns
NLV (N°)	15,36	6,21	0,80	12,00	19,00	0,64	8,65**
NGV (N°)	14,36	7,56	0,39	7,00	19,00	0,15	12,29**
LG (mm)	9,03	4,19	1,39	7,00	12,44	1,94	2,70**
AG (mm)	5,16	3,34	1,67	4,26	6,44	2,78	0,63**
RTO (Kg.ha⁻¹)	1651,58	16,66	452,26	560,00	2768,00	204541,29	893882,80**
PCS (g)	19,43	6,30	4,34	12,00	38,00	18,86	76,93**
HIER (mg.kg⁻¹)	56,72	6,15	9,27	35,70	90,70	86,01	356,17**
ZINC (mg.kg⁻¹)	52,73	4,59	7,87	38,30	80,60	61,93	253,58**
PRO (%)	21,09	6,29	1,69	14,80	24,40	2,86	13,18**

DAF: Días a floración; **NTP:** Número de nudos en el tallo principal; **VPTA:** Número de vainas por planta; **VPED:** Número de vainas por pedúnculo; **LVA:** Longitud de la vaina; **LPED:** Longitud del pedicelo; **NLV:** Número de lóculos por vaina; **NGV:** Número de granos por vaina; **LG:** Longitud del grano; **AG:** Ancho del grano; **RTO:** Rendimiento; **PCS:** Peso de cien semillas; **HIER:** Contenido de hierro; **ZINC:** Contenido de zinc; **PRO:** Contenido de proteína. C.V: Coeficiente de variación; D.E: Desviación estándar; CM: Cuadrado medio; *: Diferencias significativas al 5% ($p=0,01-0,05$) **: Diferencias significativas al 1% ($p<0,01$).

La existencia de variabilidad genética entre las 30 accesiones de frijol caupí evaluadas, se sustenta en el hecho que de 36 variables con que inició el estudio, solo ocho fueron declaradas como no discriminantes en el análisis exploratorio, luego de que el análisis de varianza realizado sobre caracteres cuantitativos del experimento, arrojava diferencia estadística entre los 30 genotipos, para casi todas las características, lo cual se puede verificar en la prueba de medias (ANEXO 1). A partir del cual se puede extraer la siguiente información, las características que se muestran más similares son: Largo del grano, número de vainas por pedúnculo, días a floración y contenido de zinc; Usando una serie de criterios de selección cada una de estas características tiene asociado un determinado número de accesiones por ejemplo: genotipos con longitud de grano mayor a 8 mm, 26 materiales responden a esa necesidad. Materiales que produzcan dos o más vainas por pedúnculo: 19 genotipos lo muestran. Accesiones capaces de florecer en menos de 36 días, hay 18 que

responderían a este requerimiento. Contenidos de zinc iguales o superiores a 50 mg.kg^{-1} , 21 genotipos llegan al nivel solicitado.

Los rasgos que presentan mayor divergencia son el número de granos por vaina, peso de cien semillas, número de vainas por planta, número de nudos en el tallo principal, rendimiento, ancho del grano, contenido de hierro y contenido de proteína. Teniendo en cuenta para este caso los siguientes indicadores: accesiones con capacidad de producir al menos 15 granos por vaina, se encuentran 12 que cumplen esta condición. Si fuera necesario un peso de cien semillas superior a 20 g, 13 materiales serían seleccionados por cumplir este requisito. En la medida que se es más exigente en este tipo de parámetros el número de materiales se hace menor, por ejemplo si se buscara genotipos que formen más de 15 vainas por planta, el número de genotipos capaces es 6; otro ítem a tener en cuenta tiene que ver con aquellos materiales que presenten siete o más nudos en el tallo principal, esta condición la cumplen 7 accesiones. Uno de los caracteres de mayor preocupación para la agricultura es el rendimiento, si se quiere seleccionar aquellos que superen los 2000 kg.ha^{-1} , seis muestran resultados experimentales satisfactorios en este aspecto. Semillas de 6 mm de ancho o superiores, se presenta en 3 accesiones. Contenidos de hierro iguales o superiores a 60 mg.kg^{-1} es posible encontrarlos en 7 genotipos. Finalmente contenidos de proteína mayor o igual a 24%, se presenta en el genotipo caupí nuevo.

La diversidad fenotípica, la importancia de los caracteres y la contribución por rasgo se determinaron mediante la aplicación de las técnicas del análisis multivariado conocidas como análisis de componentes principales y diversidad por variables cuantitativas y cualitativas.

3.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES PARA VARIABLES DISCRIMINANTES EN 30 ACCESIONES DE FRÍJOL CAUPÍ

El análisis de componentes principales (ACP), para 28 caracteres discriminantes, inicia mostrando la matriz de correlaciones de las variables, esta se calcula por el método de Pearson, que aparece en la Tabla 9. En ella se observa que los caracteres ancho de grano (AG) y longitud del grano (LG), se correlacionaron alta y positivamente, lo que significa que

a medida que aumenta la longitud del grano, el ancho de la semilla también aumenta, a su vez, el peso de cien semillas (PCS), tiene correlación alta y positiva con estos, es decir, que su valor se incrementa a medida que los granos sean mas largos y anchos, estos resultados concuerdan con el reporte de Araméndiz et al., (2020), que detectaron correlación de (0,97), entre ancho de grano y peso de cien semillas, aunque difieren de lo reportado por Cardona et al., (2014), quienes reportaron correlación negativa y altamente significativa para estos caracteres; el peso de cien semillas con el número de granos por vaina (NGV), tuvo correlación negativa y está de acuerdo con Araméndiz et al., (2020) que reportaron a nivel genotípico una correlación significativa y negativa entre estos caracteres ($r_G = -0,62^*$), lo que se puede explicar así: cuando se producen vainas largas con muchos óvulos, existe la competencia por fotoasimilados, lo cual es consistente con lo reportado por Bezerra et al. (2001), Andrade et al. (2010), Silva et al. (2014) y Meena et al. (2015).

El número de nudos en el tallo principal (NTP), disminuye con los días a floración, mientras que se incrementa con el número de vainas por planta (VPTA) y el número de vainas por pedúnculo (VPED). De otro lado, la longitud del grano y el ancho del grano disminuyen con el número de vainas por pedúnculo (VPED); Respecto al número de lóculos por vaina (NLV), se puede notar que aumenta con los días a floración (DAF), y con la longitud de la vaina (LVA), el carácter número de granos por vaina (NGV), muestra correlación positiva con DAF, LVA y NLV. por otra parte con LG y AG, la correlación es negativa; Ajayi et al. (2014), acusan resultado similar para semillas por vaina y longitud de la vaina.

El rendimiento está correlacionado con número de granos por vaina (NGV) y número de lóculos por vaina (NLV), es directa la relación entre las variables, por tanto, el rendimiento aumenta a la medida que se presente mayor número de lóculos y granos por vaina, este resultado coincide parcialmente con el reporte de Carvalho et al., (2016) quienes afirmaron que el rendimiento se correlacionó positivamente con el número de semillas por vaina.

En cuanto a los contenidos nutricionales, se encontraron correlaciones positivas ($P < 0.05$) entre contenidos de hierro y el número de vainas por pedúnculo, el resultado es similar al reportado por Araméndiz et al., (2021), que hallaron correlación entre número de vainas por pedúnculo, número de nudos en el tallo principal y aumento de contenido de hierro en las

semillas. La explicación es la siguiente: Cuanto mayor es la tasa de emisión foliar, mayor es la acumulación de hierro en la semilla por translocación a pesar de que no es un elemento muy móvil en la planta

Hubo correlación positiva entre contenido de proteína, longitud de la vaina, número de granos por vaina y rendimiento, indicando que es posible encontrar alto rendimiento y contenido de proteína simultáneamente; Las correlaciones entre contenidos de hierro y longitud del grano, peso de cien semillas y rendimiento fueron negativas, lo cual coincide parcialmente con resultado de Silva y Neves (2011), por lo que no es posible mejorar el rendimiento a través del Peso de cien semillas.

Tabla 9. Matriz de correlaciones para variables cuantitativas discriminantes en fríjol caupí.

	DAF	VPTA	VPED	LVA	NTP	LG	AG	NLV	NGV	RTO	PCS	HIER	ZINC	PRO
DAF	-													
VPTA	-0.15	-												
VPED	-0.24	0.23	-											
LVA	0.29	-0.35	-0.18	-										
NTP	-0.53**	0.45*	0.62**	-0.25	-									
LG	0.03	-0.07	-0.45*	0.20	-0.24	-								
AG	-0.06	-0.42*	-0.37*	-0.10	-0.22	0.59**	-							
NLV	0.54**	-0.33	-0.16	0.58**	-0.32	-0.18	-0.14	-						
NGV	0.47**	-0.14	0.14	0.53**	-0.06	-0.44*	-0.41*	0.88**	-					
RTO	0.26	0.30	0.05	-0.06	0.15	0.01	-0.19	0.42*	0.42*	-				
PCS	-0.13	-0.28	-0.47**	0.08	-0.21	0.86**	0.83**	-0.22	-0.53**	-0.16	-			
HIER	0.07	-0.05	0.43*	0.02	-0.06	-0.39*	-0.34	-0.05	0.17	-0.39*	-0.46*	-		
ZINC	-0.11	0.24	0.09	-0.26	0.18	-0.24	-0.13	-0.27	-0.19	-0.16	-0.18	0.21	-	
PRO	0.12	0.13	0.16	0.41*	0.30	0.04	-0.25	0.35	0.45*	0.43**	-0.13	-0.08	0.10	-

*Correlaciones significativas entre variables, **correlaciones altamente significativas entre dos variables.

La Tabla 10, muestra las estimativas de los autovalores por componente, a estos se asocia el porcentaje de variación explicada, se seleccionan aquellos con autovalor mayor o igual a 1. En este caso, el 83,21 % de la variación, se explica con 9 componentes principales, y sus autovectores aparecen en la tabla 11, los que concuerdan con los reportes de Gerrano et al., (2019) y Walle et al., (2019), y ello se sustenta en que los valores propios iguales o mayores que 1 indican la existencia de un nivel de significancia de las características evaluadas en los genotipos estudiados. Espinosa et al., (2016), evaluando diversidad morfológica en mora, reportaron que los primeros ocho componentes tenían valores propios superiores a 1 y fueron

los de mayor relevancia en la medida que agruparon alrededor de un 84,78% de la variación total de los datos originales; Aremu et al. (2007), en frijol caupí con seis componentes principales explicaron la 63,62 % de la variación de los datos de 27 características evaluadas.

En la salida del ACP, se identificaron ocho descriptores como las variables más discriminantes para la diversidad genética en frijol caupí, cinco de ellas cuantitativas y tres cualitativas; estas son: número de granos por vaina (NGV), número de vainas por pedúnculo (VPED), contenido de hierro (HIER), forma del grano (FG), hábito de crecimiento (HC), curvatura de la vaina (CUV), días a floración (DAF), y contenido de zinc (ZINC). Estos resultados coinciden parcialmente con los de Gonzalez et al. (2019), quienes reportaron entre otras variables la forma del grano, el color del grano, el hábito de crecimiento y la curvatura de la vaina como características importantes en la discriminación para diversidad genética del caupí. Por otra parte, Mofokeng et al. (2020), registraron los días a floración y el número de semillas por vaina dentro de los rasgos agronómicos que más contribuyeron a la variación. De igual forma, (Gerrano et al., 2019; Stoilova y Pereira., 2013), también seleccionaron el número de granos por vaina (NGV), como indicador de diversidad en esta especie.

El primer componente (CP 1), explica el 20,23% de la variación total de la información, lo determinan las variables días a floración (DAF) y color de grano (CG), con 0,5192 y $-0,3098$ respectivamente. Siendo más fuerte la tendencia hacia el carácter cuantitativo días a floración (DAF). En el segundo componente (CP 2), predominan las características cualitativas, las cuales tienen relación con la morfología de la planta, y están representadas por el color de la hoja (CH), 0,3367, patrón de pigmentación de la flor (PPF), 0,3674, y la textura del grano (TG) con $-0,3937$ y el único descriptor cuantitativo en este componente es número de nudos en el tallo principal (NTP), con autovector de $-0,3216$. Este componente explica el 15,7% de la variación total de los datos.

En el tercer componente (CP3), se recoge 11,14% de la variación de la información, tiene que ver con aspectos reproductivos de la planta, sobresaliendo la textura del grano (TG) con 0,4378, seguida del patrón de pigmentación de la flor (PPF) con 0,3421 y de manera negativa para este CP, está el ancho del grano (AG), cuyo autovector es $-0,3843$. Las características del cuarto componente (CP 4), y sus autovectores están asociados con el ancho de grano

(AG) 0,3108, susceptibilidad a fusarium (SFUS) -0,3353 y hábito de crecimiento (HC) - 0,3236; reponiendo dicho componente por 9,08% de la explicación de la variación de los datos.

Tabla 10. Estimativas de autovalores e importancia de descriptores

Autovalor	% Explicado	% Acumulado	Nº	Autovalor	Importancia (%)	Destacado	Recomendación
5,67	20,23	20,23	1	5,6654322	20,23	NGV	
4,40	15,70	35,94	2	4,3973322	15,7	VPED	
3,12	11,14	47,08	3	3,1183655	11,14	HIER	
2,54	9,08	56,16	4	2,5428419	9,08	FG	
1,98	7,06	63,22	5	1,9779018	7,06	HC	
1,84	6,56	69,78	6	1,8378208	6,56	CUV	
1,40	5,00	74,78	7	1,3997005	5	DAF	
1,33	4,75	79,54	8	1,3307772	4,75	ZINC	
1,03	3,68	83,21	9	1,0291415	3,68	HC	
0,87	3,10	86,31	10	0,8678119	3,1	CH	
0,74	2,66	88,97	11	0,7446802	2,66	CG	
0,65	2,32	91,29	12	0,6489916	2,32	FFA	Descarte
0,50	1,79	93,08	13	0,5009179	1,79	CUV	Descarte
0,44	1,59	94,67	14	0,4448478	1,59	PPF	Descarte
0,35	1,26	95,92	15	0,3521290	1,26	VIG	Descarte
0,29	1,03	96,95	16	0,2883803	1,03	CH	Descarte
0,23	0,83	97,79	17	0,2334534	0,83	HIER	Descarte
0,19	0,68	98,47	18	0,1907032	0,68	RTO	Descarte
0,16	0,56	99,03	19	0,1562922	0,56	HC	Descarte
0,09	0,31	99,34	20	0,0868156	0,31	FFA	Descarte
0,05	0,17	99,51	21	0,0486361	0,17	CH	Descarte
0,05	0,16	99,68	22	0,0461793	0,16	LVA	Descarte
0,03	0,12	99,79	23	0,0324092	0,12	PRO	Descarte
0,03	0,11	99,90	24	0,0301009	0,11	PPTA	Descarte
0,01	0,04	99,94	25	0,0123194	0,04	VPED	Descarte
0,01	0,04	99,98	26	0,0103303	0,04	PCS	Descarte
0,01	0,02	100,00	27	0,0055845	0,02	LG	Descarte
0,00	0,00	100,00	28	0,0001038	0	NGV	Descarte

Valores en negrilla indican el número de componentes necesarios para explicar 83,21% de la variación de los datos.

Tabla 11. Peso de variables discriminantes en los nueve componentes principales del ACP.

	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	CP 6	CP 7	CP 8	CP 9
VIG	0,1457	0,0703	-0,1282	-0,0049	-0,0262	0,2775	0,2147	0,0867	0,1172
CF	0,2345	-0,0613	0,0533	-0,1981	-0,14	-0,0595	0,0528	-0,2664	-0,0762
PPF	0,063	0,3674	0,3421	0,1046	0,1709	0,2982	0,0226	0,1125	0,1241
SFUS	-0,1647	-0,1114	0,1791	-0,3353	-0,1785	0,0822	0,1336	-0,0011	0,4134
HC	-0,1065	-0,2433	-0,2585	-0,3236	0,4289	0,0467	-0,3655	-0,0635	0,267
PPTA	-0,2469	0,0471	-0,0374	-0,1686	-0,2061	0,1091	-0,113	0,3576	0,0141
CH	-0,2963	0,3367	0,1441	-0,122	0,1117	0,0833	0,0804	-0,0449	-0,0922
PVI	-0,1171	-0,0992	-0,2013	0,1387	-0,0233	0,2677	0,1755	0,4039	0,3672
CVM	0,2157	0,0487	-0,1407	-0,0232	-0,3719	0,0282	0,1928	0,1709	0,1031
FFA	0,2604	0,2282	0,1027	-0,2268	0,1275	-0,196	0,5012	0,0921	0,0208
CUV	0,0059	0,1647	-0,2753	-0,2497	-0,1363	-0,1578	-0,0136	-0,0513	0,0602
FG	-0,1294	-0,0235	-0,2121	0,2496	-0,2768	0,0754	-0,1291	0,018	-0,0458
CG	-0,3098	0,2649	0,0617	0,1178	0,043	0,0272	-0,0973	0,1196	0,0312
TG	-0,0809	-0,3937	0,4378	0,0831	-0,0436	0,0432	0,0812	0,0548	0,0577
DAF	0,5192	-0,0678	0,0529	0,2164	0,2182	-0,0663	-0,201	0,2971	-0,0275
VPTA	-0,1843	-0,2122	0,0913	-0,1181	0,1195	0,3049	0,3596	-0,2845	-0,2651
VPED	0,0257	0,0284	0,0638	0,2368	0,1311	0,2409	-0,1281	-0,3383	0,1175
LVA	0,0684	0,038	-0,1771	-0,2942	0,1306	0,2163	-0,0624	0,1585	-0,3474
NTP	0,0592	-0,3216	0,2128	0,09	-0,3663	-0,0128	-0,0891	-0,0456	-0,0131
LG	-0,1867	-0,0131	-0,1525	0,1203	-0,0743	-0,1783	0,0845	0,0966	-0,2821
AG	-0,1267	-0,1677	-0,3843	0,3108	0,2067	-0,1146	0,3933	-0,1888	0,2104
NLV	-0,0888	-0,2338	-0,0866	-0,1125	0,0088	0,0648	0,0524	0,2496	-0,3862
NGV	-0,0621	-0,1857	0,0976	0,0849	0,3440	-0,3237	0,1855	0,2791	0,0098
RTO	-0,1896	0,2217	0,0683	0,081	-0,1034	-0,4557	-0,0712	-0,0951	0,1257
PCS	0,0285	0,0596	-0,0878	0,2477	-0,069	0,2151	0,1097	-0,0439	-0,1306
HIER	-0,2706	-0,0231	0,1666	0,1219	0,081	-0,1383	0,0337	0,1715	-0,1697
ZINC	-0,0161	-0,16	0,1504	-0,2018	-0,0093	-0,1182	-0,0058	0,1068	0,1306
PRO	-0,0017	-0,0219	-0,1138	-0,0823	-0,0814	-0,1244	0,1123	-0,0773	-0,0251

DAF: Días a floración; **NTP:** Número de nudos en el tallo principal; **VPTA:** Número de vainas por planta; **VPED:** Número de vainas por pedúnculo; **LVA:** Longitud de la vaina; **LPED:** Longitud del pedicelo; **NLV:** Número de lóculos por vaina; **NGV:** Número de granos por vaina; **LG:** Longitud del grano; **AG:** Ancho del grano; **RTO:** Rendimiento; **PCS:** Peso de cien semillas; **HIER:** Contenido de hierro; **ZINC:** Contenido de zinc; **PRO:** Contenido de proteína*Valores en negrilla representan descriptores de mayor contribución para cada componente principal.

El quinto componente (CP5), está determinado con influencia positiva por el hábito de crecimiento (HC) con 0,4289 y explica 7,06% de la variación de la variación total, el sexto componente (CP6), contiene 6,56% de la variación total y está determinado por el número de granos por vaina (NGV) y número de vainas por planta (VPTA), con registros de -0,3237 y 0,3049, asociado con los principales componentes del rendimiento.

En el séptimo componente (CP 7), hay influencia positiva en la determinación por parte de la variable forma del foliolo apical (FFA), con 0,5012, este componente solo explica el 5% de la variación de los datos. El octavo componente (CP8), responde por 4,75% de la variación total de los datos, está determinado por pigmentaciones en la planta (PPTA), y vaina inmadura (PVI), y el número de vainas por pedúnculo (VPED), siendo positivos los autovectores de las dos primeras 0,3576 y 0,4039 y negativo el de (VPED), -0,3383 y se encuentra mucho más relacionada con la producción en la senescencia.

El noveno componente (CP 9), tiene asociadas cuatro variables en su definición, las dos primeras, tienen que ver con la susceptibilidad a *Fusarium* (SFU) y pigmentación de la vaina inmadura (PVI), con autovectores de 0,4134 y 0,3672; mientras que las dos variables con autovectores negativos son: número de lóculos por vaina (NLV), con -0,3862 y longitud de la vaina (LVA), con -0,3474. La variación explicada por este CP, es de 3,68%.

3.3 ANÁLISIS BIPLLOT.

En el biplot de la figura 1, se observa la dispersión de las accesiones y cada uno de los descriptores en un espacio bidimensional, esta figura relaciona los dos primeros componentes del ACP. Se observan cuatro cuadrantes y en cada uno de ellos un grupo de variables y genotipos; En la parte superior derecha de la figura se encuentra el primer cuadrante en este sector del gráfico los caracteres tienen valores positivos para ambos componentes y en él se agrupan cinco materiales (10, 12, 15, 19 y 20), BRS Milenium, TVU-382, BRS Potengi, Judío blanco y MNC05-828C-3-15, Estos cultivares se caracterizan por presentar mayor longitud de granos, peso de cien semillas, ancho del grano y vigor, variables que están relacionadas con el rendimiento de grano.

El material MNC05-828C-3-15 (19), es el más discriminante por estar más distante del origen y acusa tener genes interesantes para el mejoramiento, más si se tiene en cuenta que este material presentó el mayor peso de cien granos del estudio y fue el único material calificado en la parte cualitativa como muy vigoroso; esto resulta especialmente importante debido a que el vigor de la planta es una característica importante para la selección de genotipos con buena adaptación (Ndengoloka, 2017) y está relacionado con la fuerza motriz en el proceso de germinación para producir rápidamente plántulas normales con raíces de mayor longitud que le permite formar hojas y ramas en una población uniforme y agronómicamente deseable.

Según Parreira et al., (2013), el frijol es una planta con ruta fotosintética C3, por ser una planta con un período de crecimiento vegetativo corto, es sensible a interferencia de las malezas en el inicio de su desarrollo y compite por factores esenciales como luz, espacio y nutrientes; Por ello cuando una planta de frijol caupí posee alto vigor es capaz de competir en la fase inicial de desarrollo del cultivo con las malezas, y de esta manera, bajar la presión que ejercen dichas plantas en la competencia por los factores anotados, esto se denomina en malherbología época crítica de competencia, respecto a este tema, Cerna Bazan et al., (2008), indican que el periodo crítico de competencia de las malezas con el cultivo del Caupí, en condiciones de siembra en húmedo, se encontró entre el inicio de la quinta semana y el fin de la novena semana después de la emergencia del cultivo.

En el cuadrante número dos hay ocho accesiones como siguen: Caupí negro (1), Calamarí (2), BRS Guariba (14), BRS Tumucumaque (16), Caupí Brasil 2016 (18), 24135 (21), Guajiro (28) y Capisuna (29), las cuales tienen similitud en cuanto a número de lóculos por vaina, longitud de la vaina y color del grano. Entre estas accesiones llama la atención la posición distante del material número 1, esta ubicación sugiere la existencia de genes diferentes al resto de materiales de este cuadrante y por tanto interesantes para ampliar la base genética de la especie.

En el tercer cuadrante (parte inferior izquierda), se alojan cinco accesiones Momposino (25), Mano de tigre (27), Caupica M-11 (3), Cuarentano (4), y L-CP-M 37 (9), las variables que

más discriminan en esta parte del gráfico son los contenidos nutricionales (HIER y PRO), el número de granos por vaina (NGV) y el rendimiento (RTO).

El cuarto cuadrante agrupa nueve accesiones (5, 6, 7, 11, 17, 22, 23, 24 y 30), Provinciano, Caupí Betancí, Criollo córdoba, IT-86, BRS Jurua, Caupicor 50, L-019, LC-006-016 y Caupí nuevo. En esta parte de la figura las variables que más aportan a la divergencia son número de nudos en el tallo principal (NTP), contenidos de zinc (ZINC), número de vainas por planta (VPTA), y el número de vains por pedúnculo (VPED), cuyos valores son de signo positivo para el CP 1 y negativos para el CP 2. En este caso los materiales más discriminantes corresponden a las accesiones número 23 (L-019), 30 (Caupí nuevo) y 11 (IT-86), siendo este último el más divergente debido a que se observa más alejado del origen del gráfico. Las accesiones destacadas en este cuadrante resultan muy interesantes desde el punto de vista de agronómico y nutricional.

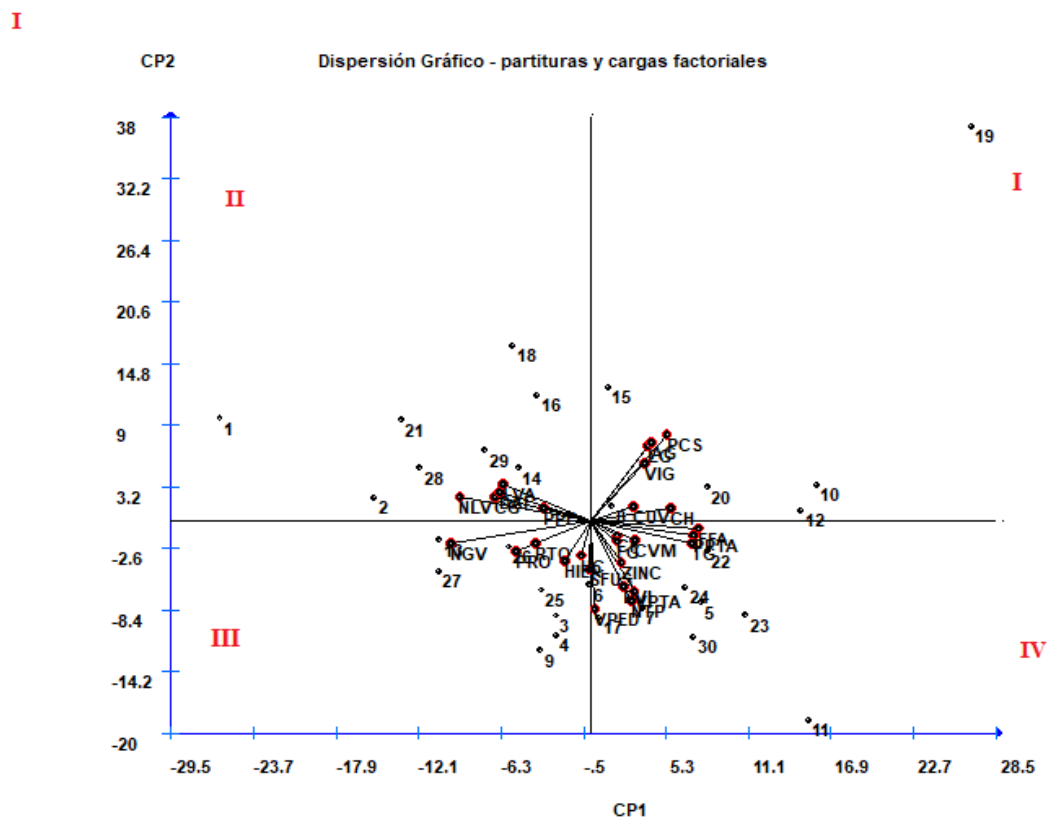


Figura 1. Biplot CP 1 vs CP 2. Para variables discriminantes en 30 accesiones de fríjol caupí.

En la figura 2, se muestra la dispersión en 2D, de los genotipos y las variables por cuadrante al comparar los componentes 1 y 3 del análisis. En el primer cuadrante de este biplot, se ubican como variables discriminantes la pigmentación de la planta (PPTA), y el color de la flor (CF), siete accesiones a saber se alojan en esta parte del gráfico, 7, 10, 11, 12, 19, 22, 23 y 30; Las accesiones 10 (BRS Mileio), 11 (IT-86), 12 (TVU-382) y 19 (MNC05-828C-3-15), se observan más alejadas del origen en el cuadrante, lo que indica que son las más diversas genéticamente y es el genotipo número 19 que marca mayor diferencia, igual que en el gráfico anterior.

En el cuadrante 2, aparecen los genotipos número 1, 2, 18, 25, 27, 28 y 29, a este cuadrante se asocian las variables, patrón de pigmentación de la flor, rendimiento y contenido de proteína y los genotipos que sobresalen como divergentes son los materiales 1 y 2, es decir Caupí negro y Calamarí, esto debido a la posición distante del origen de ambas accesiones.

En el tercer cuadrante se ubican cuatro accesiones cuya numeración es (3, 4, 16 y 21), identificados como Caupica M-11, Cuarentano, BRS Tumucumaque y 24135. Las variables longitud de la vaina (LVA), y contenido de hierro (HIER), son las que discriminan en esta parte del gráfico y las accesiones 16 (BRS Tumucumaque) y 21 (24135), muestran la mayor divergencia en el cuadrante.

En el cuarto cuadrante de esta figura se ven los genotipos 5, 6, 8, 15, 20 y 24, este último muestra la ubicación más lejana del origen y parece ser la accesión que presenta la composición génica más divergente de este grupo, las variables que marcan la diversidad en el cuadrante son forma del foliolo apical (FFA), curvatura de la vaina (CUV) y contenido de zinc (ZINC), la accesión número 24 aparece separada de las demás del cuadrante porque es el material que más acumula zinc en el grano 62 mg.kg^{-1} .

de hierro (HIER), y contenidos de zinc (ZINC). El material número 24 (LC-006-016), reúne los más altos contenidos de hierro y zinc (89,25 y 62,00 mg.kg⁻¹ respectivamente) por tanto es una accesión con componentes nutricionales interesantes para la producción de genotipos biofortificados.

El cuatro cuadrante de esta figura se compone de las accesiones 8, 15, 16, 20 y 21, de estos materiales sobresalen en divergencia el genotipo 15 (BRS Potengi) y el 16 (BRS Tumucumaque). Las características que permitieron discriminar los materiales en esta parte del biplot fueron la longitud y curvatura de la vaina.

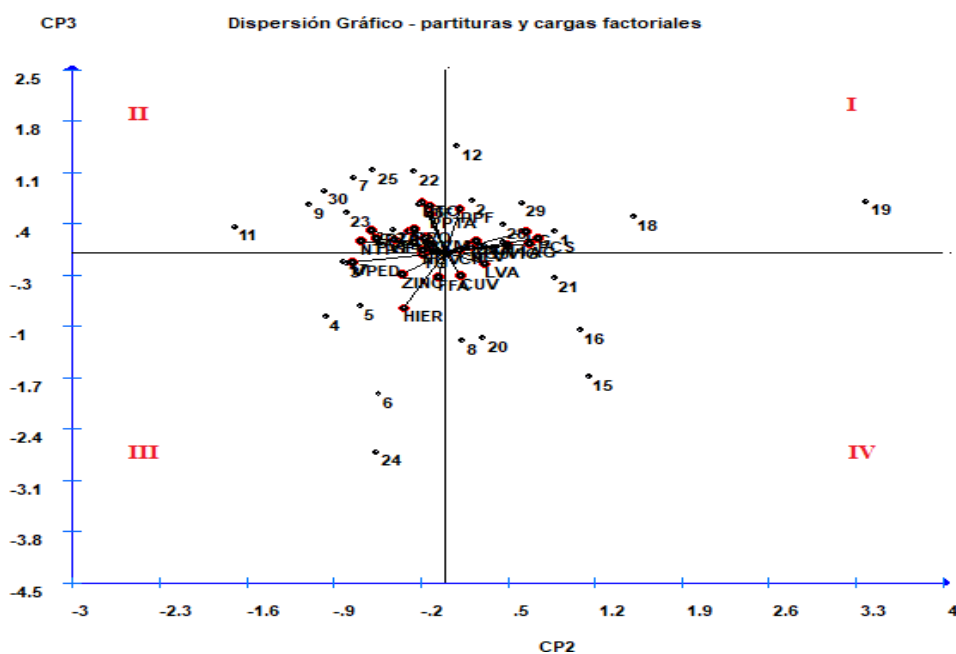


Figura 3. Biplot CP 2 vs CP 3 para variables discriminantes en 30 accesiones de frijol caupí.

4. CONCLUSIONES

Existe variabilidad genética en los caracteres de tipo cualitativo, donde se destacan el patrón de pigmentación de la flor y el color del grano como las características con mayor variabilidad genética, así mismo, la presencia de genotipos no susceptibles a *Fusarium* y de hábito de crecimiento erecto que pueden ser muy útiles en un programa de mejoramiento genético; respecto a características de interés agronómico, el material MNC05-828-C-3-15, se considera como un buen parental en el programa de mejoramiento genético de fríjol caupí

Las variables número de granos por vaina, número de vainas por pedúnculo, contenido de hierro, forma del grano, hábito de crecimiento, curvatura de la vaina, días a floración y contenido de zinc, fueron identificadas en el análisis mutivariado por componentes principales como las más discriminantes para fríjol caupí, esta afirmación se fundamenta en los autovalores hallados en la salida del análisis estadístico y en la importancia arrojada por dichos caracteres interpretada como el porcentaje de variación explicado.

El análisis de los biplot, permitió identificar no solo descriptores con mayor poder discriminante, también facilita la identificación de accesiones sobresalientes en ciertos caracteres de interés agronómico, este es el caso de los componentes de rendimiento longitud y ancho de grano, también el peso de cien semillas, atributos en los que la accesión MNC05-828-C-3-15, se destacó y por medio de la dispersión gráfica de los genotipos generada a través de la técnica multivariada de los componentes principales, se pudo detectar con facilidad.

Las accesiones LC-006-016 con $89,25 \text{ mg.kg}^{-1}$ para hierro y $62,00 \text{ mg.kg}^{-1}$ para zinc, y Caupí nuevo con 24% de proteína fueron las de mayor aporte de microelementos, por lo tanto, se sugieren como progenitores para el desarrollo de cultivares biofortificados para la región caribe en el futuro, lo cual ayudaría a mitigar el hambre oculta de esta zona del país.

5. REFERENCIAS

- Adewale, B. D., Okonji, C., Oyekanmi, A. A., Akintobi, D.A. C y Aremu, C. O. (2010). Genotypic variability and stability of some grain yield components of Cowpea. *African Journal of Agricultural Research*. 5 (9), 874-880. DOI: 10.5897/AJAR09.481
- Aguirre, P. A. (2009). *Caracterización nutricional del grano de caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp) en ratas*. (Tesis de maestría). Universidad nacional de Colombia. Palmira. Colombia.
- Ajayi, A., Osekita, O., y Osaghae, O. (2014). Variability among some accessions of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) in Nigeria based on the expression of quantitative traits. *futa journal of research in sciences*, 10 (1), 26-34.
- Alvares Bianchi, P., Almeida da Silva, L. R., André da Silva Alencar, A., Henrique Araújo Diniz Santos, P., Pimenta, S., Pombo Sudré, C., Dalla Corte, L. E., Azeredo Gonçalves, L. S y Rodrigues, R. (2020). Biomorphological Characterization of Brazilian Capsicum Chinense Jacq. Germplasm. *Agronomy*, 10 (3), 447. Doi:10.3390/agronomy10030447
- Andrade, F.N., M. Moura Rocha, R. Ferreira-Gomes, F.R. Freire Filho, y S. Ramalho-Ramos. 2010. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. *Rev. Ciênc. Agron.* 41(2), 253-258. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000200012>
- AOAC.association official chemists international. (2012). Official methods of the association official chemists international. 19th ed. AOAC int., Gaithersburg. md, USA.
- Araméndiz-Tatis, H., Cardona-Ayala, C., & Espitia-Camacho, M. (2021). Heritability, genetic gain, and correlations in cowpea bean (*Vigna unguiculata* [L.] (Walp.) *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 15(2), e12321. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12321>

Araméndiz-Tatis, H., Espitia-Camacho, M., & Cardona-Ayala, C. (2020). Correlaciones y análisis de sendero para características cuantitativas en genotipos semi-postrados de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 14(2). Doi: <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i2.10758>

Araméndiz-Tatis, H., Espitia-Camacho, M., y Cardona-Ayala, C. (2019). Adaptation and stability of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) bean cultivars in the tropical dry forest of Colombia. *Australian Journals Crop Science*, 13 (06), 1009-1016. Doi: 10.21475/ajcs.19.13.06.p1965

Araméndiz-Tatis, H., Espitia-Camacho, M., y Cardona-Ayala, C. (2017). Adaptabilidad y estabilidad fenotípica en cultivares de frijol caupí en el caribe húmedo colombiano. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 15 (2), 14-22. Doi: [dx.doi.org/10.18684/bsaa\(v15\)EdiciónEspecialn2.574](https://dx.doi.org/10.18684/bsaa(v15)EdiciónEspecialn2.574)

Araméndiz-Tatis, H., Espitia-Camacho, M., y Sierra Naranjo, C. (2011). Comportamiento agronómico de líneas promisorias de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) en el valle del sinú. *Temas agrarios*, 16 (2), 9-17.

Aremu, C. O., Adebayo, M. A., Ariyo, O. J., y Adewale, B. B. (2007). Classification of genetic diversity and choice of parents for hybridization in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) for humid savanna ecology. *African journal of biotechnology*, 6 (20), 2333-2339.

Ballesteros - Martínez, N. (2018). *Evaluación de 10 genotipos de frijol caupí (Vigna unguiculata (L.) Walp) por características agronómicas y nutricionales en el municipio de Polonuevo – Atlántico*. (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba. Montería, Colombia.

Bezerra, A.A., C.J. Anunciação Filho, F.R. Freire Filho, y V.Q. Ribeiro. 2001. Inter-relação entre caracteres de caupi de porte ereto e crescimento determinado. *Pesq. Agropec. Bras.* 36(1), 137-142. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000100017>

Cardona-Ayala, C., Araméndiz-Tatis, H., y Jarma-Orozco, A. (2013). Variabilidad genética en líneas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Revista Agronomía*, 21 (2), 7-18.

Carvalho, M., Castro, I., Matos, M., Lino-Neto, T., Silva, V., Rosa, E., y Carnide, V. (2016). Caracterização agro-morfológica de acessos de feijão frade (*Vigna unguiculata* (L.) Walp): bases para o melhoramento. *Revista de ciências agrárias*, 39 (4), 506-517. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16091>

Castillo, V., Collavino, N.G., Farfan, E.C., Carreras, J., Fekete, A.C., y Pocovi, M. (2020). Caracterización de accesiones de garbanzo (*Cicer arietinum* (L.)) mediante descriptores morfo agronómicos cuantitativos en una colección del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional de Córdoba. *RIA*, 46 (2), 166. <http://ria.inta.gob.ar/contenido/ria-46-no-2-agosto-2020>

Cerna Bazán, L., Rodríguez Avalos, F., Robles Castañeda, J., y León Becerra, N. 2008. Periodo crítico de competencia de las malezas con el cultivo de caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] Bajo condiciones de siembra en húmedo. *Pueblo canto* 19(1) 2008, 7-15

Correa, E. M., León, R. I., Lobato, M. A., García, M. A., Muñoz, C. G., y Araméndiz, H. (2019). Caracterización morfoagronómica de la colección de germoplasma de ají dulce (*Capsicum spp.*) del caribe colombiano. *Temas Agrarios*, 24 (2), 81-95. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.1998>

Costa, E. (2010). *Divergencia genética entre linhagens africanas de feijao-caupi (Vigna unguiculata* (L.) Walp) *A través de caracterización morfoagronómica e molecular*. (Tesis de maestría), Universidad Federal Rural de Pernambuco. Recife. Brasil.

Cruz, C. (2006). Programa genes - aplicativo computacional em genética e estatística. (ufv, ed.) Viosa, Brasil. Recuperado de www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm www.ufv.br/dbg/biodata.htm

Cruz, C. D., Regazzi, A. J. (2001). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa. Brasil. UFV.

De-Paula, C., Jarma-Arroyo, S., y Aramendiz-Tatis, H. (2018). Caracterización nutricional y determinación de ácido fítico como factor antinutricional del frijol caupí. *Agronomía mesoamericana*, 29 (1), 30-41. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27941>

De-Paula, C., Jarma, S., y Aramendiz-Tatis, H. (2016). Caracterización nutricional y sensorial de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Agronomía colombiana*, 34 (1supl.), s1131-s1134. Doi: 10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58322

De Sousa Monteiro, M. M., Bastos, E. A., Cardoso, M. J., de Andrade Júnior, A. S., y Ribeiro, V. Q. (2017). Effect of water regimes and plant densities on cowpea production. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47 (4), 432-439. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632017v4747908>

Dos Santos, C. (2020). *Caracterização morfoagronômica, fenológica e viabilidade polínica de genótipos de feijão*. (Tesis de maestría) Universidade do estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado. Mato Grosso. Brasil.

Dos Santos, A., Ceccon, G., Davide, L. M. C., Luiz Neto Neto, A., Silva, J. F. da, y Alvares, R. de C. F. (2016). Integrated multivariate analysis to identify superior cowpea genotypes. *Comunicata Scientiae*, 7 (2), 223-231. <https://doi.org/10.14295/cs.v7i2.643>

Egbadzor, K., Ofori, K., Yeboah, M., Aboagye, L., Opoku-Agyeman, M., Danquah, E., y Offei, S. (2014). Diversity in 113 cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) accessions assessed with 458 SNP markers. *Springerplus*, 3 (541), 1-15. Doi:10.1186/2193-1801-3-541

Espinosa, N., Ligarreto, G. A., Barrero, L. S., Y Medina, C. I. (2016). Morphological variability of wild blackberry (*Rubus sp.*) cultivars in the Andes of Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10 (2), 211-221. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2016v10i2.4755>

FAO. (2016). Semillas nutritivas para un futuro. Recuperado de <http://www.fao.org/pulses-2016/news/news-detail/es/c/431518/>. (Acceso 05-08-2018).

Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas - FENALCE. (2017). Informe de gestión 2017. http://fenalce.org/siembras/archivos_lt/lt_532IG-FNL-2017-CONSOLIDADO.pdf (Acceso 13-04-2021)

Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas - FENALCE. (2004). Sensibilidades del sector cerealista y de leguminosas: Fríjol Bogotá, noviembre de 2004. Recuperado de <http://fenalce.org/archivos/frijoldmlm.pdf> (Acceso 08-06-2020)

Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas - FENALCE. (2013). Situación del fríjol en Colombia. Recuperado de http://www.fenalce.org/unev_a/plantillas/arch_down_load/Presentacion_Frijol.pdf (Acceso 20-07-2018).

Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas - FENALCE. (2014). Situación actual y perspectivas del cultivo de fríjol. Departamento de Información Económica y Estadística. Recuperado de <http://www.fenalce.org/archivos/situacfrijol2015.pdf> (Acceso 20-07-2018).

Federación nacional de cultivadores de cereales y leguminosas - FENALCE. (2018). Área, producción y rendimientos de cereales y leguminosas en Colombia. Información semestral por producto y por departamentos (2002 - 2017). Recuperado de <http://www.fenalce.org/alfa/pg.php?pa=60>. (Acceso 10-10-2019)

Franco, T. L. e Hidalgo, R. (eds.). (2003). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia.

Garnica, J., Rodríguez, O., Jaramillo-Barrios, C., Villamil, J. y Valencia, J. (2020). Caracterización morfológica de 160 accesiones de ajonjolí (*Sesamum indicum* (L.)) del banco de germoplasma de Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 17(3), 63-77. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n3.2020.11618>

Gerrano, A. S., Adebola, P. O., Jansen, W. S., y Laurie, S. M. (2015). Genetic variability in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes. *South African Journal of Plant and Soil*, 32 (3), 1–10. DOI: 10.1080/02571862.2015.1014435

Gerrano, A. S., Jansen van Rensburg, W. S., y Kutu, F. R. (2019). Agronomic evaluation and identification of potential cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes in South Africa. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 69 (4), 295-303. DOI: 10.1080/09064710.2018.1562564

González Rodríguez, J. C., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M., y Tuz Guncay, I. G. (2019). Caracterización morfoagronómica y físico química de 22 accesiones de *Vigna* Sp. pertenecientes al banco de germoplasma de la UTMACH. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7 (2), 87-93. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

IBPGR. (1983). Descriptors for cowpea. International board for plant genetic resources, roma.

Ishiyaku, M.F., Singh, B.B., y Craufurd, P.Q. (2005). Inheritance of time to flowering in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Euphytica*, 142 (3), 291–300.

Jida, Z., y Alemu, S. (2019). Genetic Diversity Analysis of Ethiopian Elite Chickpea (*Cicer arietinum* (L.)) Varieties Based on Agronomic Characters. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 11(3), 80-86. DOI: 10.5897/JPBCS2018.0767

Kinho&egbè, G. E., Djèdatin, G., Loko, L. E. Y., Agbo, R. I., Saxena, R. K., Varshney, R. K., Agbangla, C y Dansi, A. (2020). Agro-morphological characterization of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) landraces grown in Benin: Implications for breeding and conservation. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 12 (1), 34-49. DOI: 10.5897/JPBCS2019.0836.

Lazo Chorres, J. A. (2019). *Evaluacion del rendimiento de grano y características morfoproductivas de seis genotipos de flijol Capuú (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) Valle del Medio Piura. 2018.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Piura. Piura. Perú.

López - Aguas, L. E. 2017. *Establecimiento de 5.000m2 de frijol caupí (Vigna unguiculata (L.) Walp), en dos ciclos productivos en el municipio de Achí Bolívar, con fines demostrativos y comerciales.* (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Yopal. Colombia.

Márquez-Quiroz, C., De La Cruz-Lázaro, E., Estrada-Domínguez, V., Osorio-Osorio, R., y Sánchez-Chávez, E. (2018). Biofortification of cowpea beans (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) with zinc: effect on yield and mineral content. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (20), 4175-4185.

Martos-Fuentes, M., Sánchez-Navarro, V., V, R.-H., Weiss, J., Egea-Gilabert, C., Zornoza, R., Faz, A., Fernández, J.A y Egea-Cortines, M. (2016). Estudio del contenido en proteína en diferentes accesiones de caupí bajo distintas condiciones de cultivo. *Anuario de jóvenes investigadores*, (9), 113-115.

Melo, R., Shirahige, F., Melo, A., Purquerio, F., Wanderley Junior, L., Menezes, D., y Melo, P. (2011). Caracterização morfo-agronômica de genótipos de feijão-caupi. *Horticultura Brasileira* 29 (2), 3365-3372.

Meena, H.K., K.R. Krishna, y B. Singh. 2015. Character associations between seed yield and its components traits in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Indian J. Agric. Res.* 49(6), 567- 570. Doi: <https://doi.org/10.18805/ijare.v49i6.6688>

Ministerio de agricultura y desarrollo rural. (2019). Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/AlimentosBalanceados/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales%20Fr%C3%ADjoles.pdf> (Acceso 05 de julio de 2020).

Mofokeng, M. A., Mashilo, J., Rantso, P., y Shimelis, H. (2020). Genetic variation and genetic advance in cowpea based on yield and yield-related traits. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 70(5), 381-391. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1749295>

Molina, O., Milián, M., y Pons, C. C. (2019). Análisis multivariado con variables mixtas en el germoplasma de ñame (*Dioscorea spp.*). *Rev. Agricultura Tropical*, 5 (1), 45-50.

Morales-Morales, A. E., De la Cruz-Lázaro, E., Osorio-Osorio, R., Sánchez Chávez, E., Montemayor Trejo, A., y Márquez-Quiroz, C. (2016). Contenido mineral y rendimiento de germinados de frijol caupí biofortificados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17), 3415-3425.

Morales-Morales, A. E., Andueza-Noh, R. H., Márquez-Quiroz, C., Benavides-Mendoza, A., Tun-Suarez, J. M., González-Moreno, A., y Alvarado-López, C. J. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de la península de Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6 (18), 463-475. DOI: 10.19136/era.a6n18.2171

Morelos-Zumaqué, M.C y Otero-Pérez, M.A. 2018. *Evaluación de 10 genotipos de fríjol caupí (Vigna unguiculata (L.) Walp.) Por sus características agronómicas y nutricionales en el municipio de Sampués-Sucre.* (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba. Montería. Colombia.

Moreno, N. (2017). *Caracterización de germoplasma de maíz procedente del departamento del Magdalena, en la Universidad del Magdalena.* (Tesis de pregrado) Universidad Del Magdalena. Santa Marta. Colombia.

Ndengoloka, D. A.N. (2017). Estudio de la diversidad fenotípica de germoplasma de Caupí (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de Angola y un grupo de germoplasma que representa otras regiones del mundo. *Nttembwa - Revista Académica do ISPT*, 1 (1), 133-183.

Nkoana, D.K., Gerrano, A. S y Gwata, E.T. 2019. Agronomic performance and genetic variability of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) accessions. *Legume Research, international journal*, 42 (6), 757-762. DOI: 10.18805/LR-450

Ocampo, P. J. y d'Eeckenbrugge, G. C. (2017). Morphological characterization in the genus *Passiflora* L.: an approach to understanding its complex variability. *Plant Systematics and Evolution*, 303 (4), 531-558. DOI 10.1007/s00606-017-1390-2

Ospino, A. R., Alvaréz, M. G., Machado-Sierra, E., y Aranguren, Y. (2020). Caracterización fenotípica y genotípica de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Dibulla, La Guajira, Colombia. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21 (3), 1-17. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1557

Palacio, F.X., Apodaca, M .J., y Crisci, J.V. (2020). *Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R / - 1a ed.* - Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina. Vazquez Mazzini Editores.

Palencia, G., Mercado, T., y Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba.*, Montería, Colombia. Editorial Gráficas del Caribe Ltda.

Pardey-Rodríguez C, García-Dávila MA, Moreno-Cortés N. Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena-Colombia. (2016). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17 (2), 167-190.

Parreira, M.C., Peñaherrera-Colina, L.A., Alves, P.L.C.A., Pereira, F.C.M. 2013. Interferencia de malezas en el cultivo de frijol en dos sistemas de labranzas. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 31(2), 2013, 319-327 <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000200009>

Ribeiro, L. P., Evangelista, J. S. P. C., Damacena, M. B., Elizeu, A. M., Coelho, I. F., Rodrigues, E. V., Teodoro, P.E., y Bhering, L. L. (2019). Estimates of genetic divergence in cowpea by multivariate analysis in different environments. *Bioscience Journal*, 35 (6), 1681-1687. DOI: 10.14393/BJ-v35n6a2019-42406

Santana, S. R. A. D., Medeiros, J. E. D., Anunciação-Filho, C. J. D., Silva, J. W. D., Costa, A. F. D., y Bastos, G. Q. (2019). Genetic divergence among cowpea genotypes by morphoagronomic traits. *Revista Caatinga*, 32 (3), 841-850. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n329rc>

Santos, J., Teodoro, P., Correa, A., Soares, C., Ribeiro, L., y De Abreu, H. K. (2014). Desempenho agrônômico e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados

no ecótono Cerrado/Pantanal. *Bragantia*, 73 (4), 377-382. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0250>

Silva, C.A., M.O. Morais, L.J. Santos, O.L. D´Arede, J.C. Silva, y M.M. Rocha. 2014. Estimativa de parâmetros genéticos em *Vigna unguiculata*. *Rev. Ciênc. Agríc.* 37(4), 399-407.

Silva, J.A. y Neves, J.A. 2011. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. *Rev. Ciênc. Agron.* 42(3), 702-713. Doi: 10.1590/S1806-66902011000300017

Stoilova, T., y Pereira, G. (2013). Assessment of the genetic diversity in a germplasm collection of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Using morphological traits. *African journal of agricultural research*, 8 (2), 208-215. DOI: 10.5897/AJAR12.1633

Tan, H., Tie, M., Luo, Q., Zhu, Y., Lai, J., y Li, H. (2012). A Review of Molecular Markers Applied in Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) (Review) Breeding. *Journal of Life Sciences* 6, (11), 1190-1199.

Tshovhote, N. J., Nesamvuni, A. E., Raphulu, T., y Gous, R. M. (2003). The chemical composition, energy and amino acid digestibility of cowpeas used in poultry nutrition. *South African Journal of Animal Science*, 33(1), 65-69.

Vargas- Vásquez, M., Muruaga-Martínez, J., Pérez-Herrera, P., Gill-Langaica, H., Esquivel-Esquivel, G., y Martínez-Damián, M. &.-P. (2008). Caracterización morfoagronómica de la colección núcleo de la forma cultivada de frijol común del INIFAP. *Agrociencia*, 42 (7), 787-797.

Walle, T., Mekbib, F., Amsalu, B., y Gedil, M. (2019). Genetic diversity of Ethiopian cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes using multivariate analyses. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences*, 29 (3), 89-104.

Wamalwa, E., Muoma, J., y Wekesa, C. (2016). Genetic Diversity of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) Accession in Kenya Gene Bank Based on Simple Sequence Repeat

Markers. *International Journal of Genomics*, 2016, 1-5.
<http://dx.doi.org/10.1155/2016/8956412>

Yao, D. M., Diarrassouba, N, Dago, N., Koffi, E.B. Z., Fofana, I. J., Konan K. J. N., Konan, K. J. L., Bourdeix, R., Sie, R. S. y Zoro, B. I. A. (2019). Genetic relationships among regenerated tall coconut (*Cocos nucifera* (L.)) accessions from multivariate analyses using reliable short list of morphological descriptors in Cte dIvoire. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 11 (5), 137-143., DOI: 10.5897/JPBCS2018.0788.

CAPITULO III

AGRUPAMIENTO GENÉTICO DE 30 GENOTIPOS DE FRÍJOL CAUPÍ [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.] DE LA COLECCIÓN DE GERMOPLASMA DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

RESUMEN

Basados en 28 descriptores morfológicos, se realizó un análisis de diversidad genética, a través de técnicas del análisis multivariado a 30 accesiones de frijol caupí [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.], de la colección de germoplasma de la Universidad de Córdoba; El diseño experimental del ensayo fue de bloques completos al azar (DBCA), con 30 tratamientos y cuatro repeticiones, fue establecido en el periodo 2018/II y 2019/I en una sola localidad en la vereda Rusia del municipio de Cereté, representativa para la producción del frijol caupí en el caribe húmedo colombiano. Las variables cualitativas fueron analizadas por estadística descriptiva, usando la moda en la construcción de tablas de frecuencia de la información registrada en campo, durante el desarrollo de este experimento. En los caracteres cuantitativos se obtuvo el promedio por repetición y con esta información se creó una base de datos multiestado, a partir de la cual se desarrolló un análisis de varianza del cual se extrajeron el archivo de medias, el de varianzas y covarianzas residuales para calcular distancia generalizada de Mahalanobis y distancia de Gower; la primera para realizar la proyección 2D por el método Kmeans y la segunda para continuar con el análisis de diversidad por medio de variables cualitativas y cuantitativas que finalizó con el análisis de conglomerados de las 30 accesiones de caupí, se identificaron los descriptores más discriminantes de cada grupo, siendo vigor, hábito de crecimiento, color de la flor y del grano, la forma del grano y la susceptibilidad a *Fusarium*, los atributos cualitativos claves. En cuanto a descriptores cuantitativos, los que más contribuyen a la diversidad genética fueron peso de cien semillas, y el contenido de hierro, zinc y proteínas; se generaron tres grupos con el primer análisis y cuatro con el segundo, cada uno con diferente número de materiales; Los clusters tuvieron 24, 2, 3 y 1 material respectivamente en el agrupamiento final de los genotipos. Las accesiones de mayor contraste son LC-006-016, Caupí nuevo, IT – 86 y MNC05-828C-3-15, ésta última resultó la más especial por su vigor y tamaño de grano, en esto coincidieron ambos métodos. De esta manera se pudo cuantificar la diversidad existente en el germoplasma evaluado.

Palabras clave: Clúster, diversidad, jerárquico, descriptor, morfológico.

ABSTRACT

Based on 28 morphological descriptors, an analysis of genetic diversity was carried out, through multivariate analysis techniques, on 30 accessions of cowpea beans [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.], From the germplasm collection of the University of Córdoba; The experimental design of the trial was randomized complete blocks (DBCA), with 30 treatments and four repetitions, it was established in the 2018 / II and 2019 / I period in a single locality in the Russian village of the municipality of Cereté, representative for the cowpea bean production in the humid Colombian Caribbean. The qualitative variables were analyzed by descriptive statistics, using the mode in the construction of frequency tables of the information recorded in the field, during the development of this experiment. In the quantitative characters, the average per repetition was obtained and with this information a multistate database was created, from which an analysis of variance was developed from which the mean file, the variance file, and residual covariance were extracted to calculate generalized Mahalanobis distance and Gower distance; the first to carry out the 2D projection by the Kmeans method and the second to continue with the diversity analysis through qualitative and quantitative variables that ended with the cluster analysis of the 30 cowpea accessions, the most discriminating descriptors of each group, being vigor, growth habit, flower and grain color, grain shape and susceptibility to *Fusarium*, the key qualitative attributes. Regarding quantitative descriptors, the ones that most contribute to genetic diversity were the weight of one hundred seeds, and the content of iron, zinc and proteins; Three groups were generated with the first analysis and four with the second, each with a different number of materials; The clusters had 24, 2, 3 and 1 material respectively in the final grouping of genotypes. The accessions with the highest contrast are LC-006-016, Caupí nuevo, IT - 86 and MNC05-828C-3-15, the latter was the most special due to its vigor and grain size, in this both methods coincided. In this way it was possible to quantify the existing diversity in the evaluated germplasm.

Keywords: Cluster, diversity, hierarchical, descriptor, morphological.

1. INTRODUCCIÓN

Los métodos de clasificación (agrupamiento de entidades con similares patrones) y ordenamiento (descripción de la relación espacial entre entidades) son dos de las mejores técnicas multivariadas comúnmente usadas en áreas tales como la taxonomía numérica, análisis genético de plantas de cultivo y biotecnología para describir y analizar datos multivariados (Molina et al., 2019). El análisis de patrones, que es el uso combinado del análisis de cluster y técnicas de ordenamiento, brinda una poderosa herramienta para examinar grandes conjuntos de datos. Variables continuas y categóricas son evaluadas en cada accesión o cultivares de los bancos de germoplasmas, dificultando la elaboración de escalas numéricas que integren variables continuas, nominales u ordinales. Entre las alternativas metodológicas para abordar este problema, está la combinación de técnicas que permiten el análisis de variables mixtas (Molina et al., 2019).

Conglomerado es un conjunto de objetos que poseen características similares. La palabra conglomerado es la traducción más cercana al término “cluster”, otros sinónimos son clases o grupos. En biología se habla de familia o grupo para hacer referencia a un conjunto de plantas o animales con características en común (Díaz y Morales, 2012).

Se han desarrollado en los últimos años diversos algoritmos de clasificación no supervisada capaces de realizar tal tarea: jerárquicos y no jerárquicos, los cuales dan solución a un número considerable de problemas en las ciencias biológicas a pesar de no producir muchas veces clasificaciones objetivas ni estables, ya que se pueden obtener diferentes agrupamientos a partir de la misma matriz de datos si se utilizan distintos algoritmos (Molina et al., 2019).

El análisis clúster es un método matemático principalmente utilizado para la formación de grupos de unidades básicas de caracterización con características similares a partir de las similitudes o disimilitudes que se presentan entre pares de estas unidades en características evaluadas (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2011). Este tipo de análisis está compuesto por dos métodos interrelacionados e igualmente importantes. El primero es el cálculo de los

índices de similitud o de disimilitud entre pares de unidades básicas de caracterización; existe un sinnúmero de investigaciones publicadas al respecto. No obstante, estos índices deben ser aplicados de acuerdo con la naturaleza de los datos y el objetivo de la caracterización (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2011). El segundo es la aplicación del método de aglomeración adecuado, también se han desarrollado valiosos trabajos de este tipo. A partir de los índices de similitud o disimilitud se pueden generar las gráficas de árbol o dendrogramas (representaciones gráficas) para que el investigador pueda ver, de manera esquemática, el parecido que presentan los grupos de unidades básicas de caracterización. El método de aglomeración adecuado se define principalmente por el objetivo de la caracterización (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2014).

El índice de Gower, admite realizar un análisis unificado de descriptores, es decir, permite analizar datos de tipo cuantitativo y cualitativo simultáneamente (Ruiz y Trujillo, 2020), Cuando hay presencia de variables mixtas (cuantitativas, cualitativas y binarias) se propone usar este coeficiente. Sin embargo, en la esfera agropecuaria su uso es muy escaso (Miranda et al., 2010). Así mismo, dentro de la gama de análisis multivariados, el método Ward, permite la generación de grupos lo más homogéneos posible, para clasificar las accesiones en estudio (Correa-Álvarez et al., 2019; Franco e Hidalgo, 2003). Sin embargo, en este caso se escogió como método de agrupamiento el de la Media aritmética no ponderada, más conocido como UPGMA por sus iniciales en inglés, que también es de uso frecuente en este tipo de estudios. El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar agrupamiento genético de genotipos evaluados de acuerdo con sus afinidades genéticas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

Esta investigación se realizó en un área experimental de 960 m², durante el segundo semestre de siembra del año 2018 en una sola localidad, ubicada en la finca la coquera de la vereda Rusia en el municipio de Cereté – Córdoba, sus coordenadas son 8°54'45'N y 75°48'33'W., En esta zona del departamento se presentan precipitaciones que oscilan entre 1200 y 1400 mm anuales, la temperatura promedio es de 27.2° C y la humedad relativa es de 82%, según Palencia et al., (2006).

2.2 VARIABLES E INDICADORES

2.2.1. Variables independientes. Se evaluaron 30 genotipos de frijol caupí de la colección de la especie obtenidos por el programa de mejoramiento genético de la Universidad de Córdoba, los cuales se relacionan en la tabla 12.

Tabla 12. Genotipos de frijol caupí para caracterización morfo agronómica y nutricional

Nº	NOMBRE	ORIGEN	Nº	NOMBRE	ORIGEN
1	Caupí Negro	Colombia	16	BRS Tumucumaque	Brasil
2	Caupí Calamarí	Colombia	17	BRS Jurua	Brasil
3	Caupíca M-11	Colombia	18	Caupí Brasil-2016	Brasil
4	Caupí Cuarentano	Colombia	19	MNC05-828C-3-15	Brasil
5	Caupí Provinciano	Colombia	20	Judio Blanco	México
6	Caupí Betancí	Colombia	21	24135	UNK
7	Criollo Córdoba	Colombia	22	Caupícor 50	Colombia
8	L-CP-M-35	África	23	310 L 019	Colombia
9	L-CP-M-37	África	24	102 LC 006-016	Colombia
10	BRS Milenio	Brasil	25	Momposino	Colombia
11	IT 86	Brasil	26	Mono Largo	Colombia
12	TVU 382	Brasil	27	Mano de Tigre	Colombia
13	Gurgueia	Brasil	28	Guajiro	Colombia
14	BRS Guariba	Brasil	29	Capisuna	Colombia
15	BRS Potengi	Brasil	30	"Nuevo"	Colombia

2.2.2 Variables dependientes. Las variables dependientes se relacionan en la tabla 13.

Tabla 13. Variables discriminantes para agrupamiento de 30 accesiones de frijol caupí.

Nº	CARÁCTER	ABREVIATURA	TIPO DE CARÁCTER
1	Vigor	VIG	Cualitativo
2	Color de la flor	CF	Cualitativo
3	Patrón de pigmentación de la flor	PPF	Cualitativo
4	Susceptibilidad a fusarium	SFUS	Cualitativo
5	Hábito de crecimiento	HC	Cualitativo
6	Pigmentación de la planta	PPTA	Cualitativo
7	Color de la hoja	CH	Cualitativo
8	Pigmentación de la vaina inmadura	PVI	Cualitativo
9	Color de la vaina madura	CVM	Cualitativo
10	Forma del foliolo apical	FFA	Cualitativo
11	Curvatura de la vaina	CUV	Cualitativo
12	Forma del grano	FG	Cualitativo
13	Color del grano	CG	Cualitativo
14	Textura del grano	TG	Cualitativo
15	Días a floración	DAF	Cuantitativo
16	Número de vainas por planta	VPTA	Cuantitativo
17	Número de vainas por pedúnculo	VPED	Cuantitativo
18	Longitud de la vaina	LVA	Cuantitativo
19	Numero de nudos en el tallo principal	NTP	Cuantitativo
20	Largo del grano	LG	Cuantitativo
21	Ancho del grano	AG	Cuantitativo
22	Numero de lóculos por vaina	NLV	Cuantitativo
23	Numero de granos por vaina	NGV	Cuantitativo
24	Rendimiento	RTO	Cuantitativo
25	Peso de cien semillas	PCS	Cuantitativo
26	Contenido de hierro	HIER	Cuantitativo
27	Contenido de zinc	ZINC	Cuantitativo
28	Contenido de proteína	PRO	Cuantitativo

2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

La evaluación de las variables morfológicas, se realizó basados en el descriptor de la especie IBPGR. (1983), los datos fueron consignados en formatos realizados previamente, con la información registrada se creó una base de datos digital en Excel que sirvió para hallar modas y promedios para las variables cualitativas y cuantitativas respectivamente, luego se llevó a cabo el análisis exploratorio que incluyó determinar los descriptores cualitativos con respuestas invariables y en los caracteres cuantitativos se realizó análisis de varianza para diseño de bloques completos al azar para 30 tratamientos y cuatro repeticiones sin datos perdidos, del cual se revisó la significancia de los cuadrados medios de cada variable, de este modo, fue posible descartar los descriptores que no presentaron variación; lo que siguió fue realizar prueba de medias para verificar las diferencias estadísticas arrojadas por el anova, a partir de la matriz de medias generada desde el análisis de varianza, se realizó el análisis de diversidad genética entre accesos empleando la opción de variables cualitativas y cuantitativas, este procedimiento generó la matriz de distancia de Gower sugerida para analizar datos mixtos, y esta se utilizó para agrupar por métodos jerárquicos y CCC, con el método UPGMA, de esta manera se obtuvo el dendograma; adicionalmente, se calculó la distancia de Mahalanobis para agrupar las accesiones por el método proyección 2D, y 3D, conocido como K Means, los análisis se realizaron usando el programa genes versión 1990.2020.12. Desarrollado por Cruz en (2006).

2.4 PROCEDIMIENTO

El diseño experimental del ensayo fue de bloques completos al azar (DBCA), con 30 tratamientos y cuatro repeticiones, los tratamientos fueron sorteados, mediante un procedimiento de aleatorización de Microsoft Excel, el experimento fue establecido y evaluado en una sola localidad en la vereda Rusia del municipio de Cereté, representativa para la producción del frijol caupí en el caribe húmedo colombiano, en el periodo 2018/II y 2019/I entre los meses de noviembre y enero de los años mencionados. El tamaño de parcela o unidad experimental (UE) fue de dos (2) surcos de 4 m de longitud, separados a una distancia de 1.0 m y separación entre plantas de 0.4 m. El área experimental utilizada fue de 960 m².

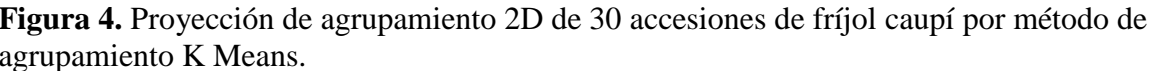
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS DE AGRUPAMIENTO

3.1.1 Proyeccion 2D y 3D. Con esta técnica se logró identificar tres grupos de accesiones, y cada grupo se puede identificar con el color asignado por el programa luego de calcular la distancia entre los genotipos, los valores correspondientes se pueden apreciar en la tabla 14 y la proyección en la figura 4.

Tabla 14. Accesiones y distancias genéticas calculadas por el método K means.

ORDEN	GENOTIPOS		DISTANCIA	COORDENADA ESTIMADA		
				ACCESION	x (i)	y(i)
1	19	MNC05828C3	0	1	0,528462	0
2	1	CAUPINEGRO	0,528462	2	0,482899	0,048193
3	11	IT86	0,904061	3	0,351106	0,138237
4	4	CUARENTANO	1,296043	4	0,358491	0,065062
5	18	CAUPIBRASI	1,460199	5	0,272872	0,166392
6	24	LC006016	1,797849	6	0,338352	0,064104
7	14	BRSGUARIBA	2,013219	7	0,34	0,175396
8	17	BRSJURUA	2,348102	8	0,351133	0,106419
9	5	CAUPIPROVI	2,630896	9	0,401597	0,148986
10	12	TVU382	2,897305	10	0,243067	0,202118
11	6	BETANCI	3,188715	11	0,202801	0,363358
12	2	CAUPICALAM	3,456342	12	0,236379	0,234439
13	28	GUAJIRO	3,635331	13	0,440081	0,095757
14	10	BRSMILENIO	3,933231	14	0,386136	0,104395
15	13	GURGUEIA	4,207669	15	0,354662	0,029596
16	30	CAUPINUEVO	4,422987	16	0,375374	0,059846
17	15	BRSPOTENGI	4,677857	17	0,404935	0,222163
18	20	JUDIOBLANC	4,88531	18	0,345654	0,05371
19	29	CAPISUNA	5,101572	19	0	0
20	26	MONOLARGO	5,28585	20	0,218684	0,08368
21	23	L019	5,454706	21	0,417605	-0,035184
22	21	24135	5,77363	22	0,283441	0,146106
23	16	BRSTUMUCUM	5,895755	23	0,30869	0,18059
24	22	CAUPICOR50	5,988773	24	0,354469	0,145834
25	27	MANODETIGR	5,962171	25	0,396536	0,146014
26	7	CRIOLLOCOR	6,025089	26	0,408861	0,093875
27	8	LCPM35	6,104049	27	0,426988	0,119792
28	9	LCPM37	6,221117	28	0,388487	0,04358
29	3	CAUPICAM11	6,329178	29	0,414908	0,046205
30	25	MOMPOSINO	6,333826	30	0,311399	0,182478



El grupo II (color morado), es el más numeroso con 20 materiales, estos presentan el mayor número de nudos en el tallo principal y también el mayor número de vainas por pedúnculo, este par de variables son importantes en aspectos reproductivos de los materiales, que se pueden mejorar con accesiones de este grupo pues se relacionan con la emisión de un mayor

número de ramas reproductivas en la planta y la prolificidad de estas. Los genotipos caupí nuevo y L-019, presentaron el mayor número de nudos en el tallo principal (8,25 y 7,50 respectivamente), también mostraron dos vainas por pedúnculo en promedio.

El grupo III, reúne los materiales más precoces en días a floración, también los que producen mayor número de vainas por planta, con las mejores características del grano en cuanto a longitud, ancho de semilla y peso de cien semillas, de igual manera poseen el mayor contenido de zinc. Estas accesiones pueden usarse en la mejora de la acumulación de zinc en el grano de los demás materiales del programa de mejoramiento de la especie y el mayor número de vainas por plantas, de igual manera en la longitud del grano que indirectamente mejoraría el peso de cien semillas, las cuales son características de importancia agronómica pues tiene relación con el rendimiento de los materiales.

Tabla 15. Descriptores cuantitativos para 30 accesiones agrupados por el método Kmeans.

DESCRIPTOR	GRUPO			CRCD- Singh (1981)*	
	GI (3)	GII (20)	GIII (7)	S j (1)	Valor (%)
Días a floración	40,3±4,8	36,2±2,3	35,7±0,8	1084,90208	2,0667
Número de vainas por planta	11,3±1,1	13,6±2,8	13,7±1,2	594,915709	1,1333
Número de vainas por pedúnculo	1,7±0,1	1,9±0,2	1,8±0,3	474,518563	0,9039
Longitud de la vaina	18,4±0,4	17,0±2,1	15,2±1,0	4914,797843	9,3623
Numero de nudos en el tallo principal	5,8±0,6	6,5±0,8	6,4±0,8	976,108792	1,8594
Largo del grano	8,9±0,2	8,9±0,6	9,4±1,4	2974,830097	5,6668
Ancho del grano	5,1±0,3	5,1±0,4	5,3±0,5	2626,758874	5,0038
Numero de lóculos por vaina	17,5±0,3	15,6±1,2	13,8±0,4	954,919592	1,819
Numero de granos por vaina	16,5±0,3	14,8±1,3	12,3±1,3	1942,560802	3,7004
Rendimiento	1917,3±558,2	1694,2±478,9	1416,0±379,4	2897,67418	5,5198
Peso de cien semillas	17,8±2,4	18,8±2,9	21,9±7,4	11813,812685	22,5044
Contenido de hierro	58,2±6,0	57,9±9,4	52,6±10,8	7946,468619	15,1374
Contenido de zinc	51,7±2,0	52,8±9,0	52,9±7,1	11144,244339	21,2289
Contenido de proteína	22,9±0,4	21,3±1,7	19,6±1,7	1838,283206	3,5018

GI: Caupí Negro, Calamarí, 24135; **GII:** Caupica M-11, Cuarentano, Betancí, Criollo Córdoba, L-C-P-M-35, L-C-P-M-37, BRS Gurgueia, BRS Guariba, BRS Potengi, BRS Tumucumaque, BRS Jurua, Caupí Brasil 2016, L-019, LC-006-016, Momposino, Monolargo, Mano de tigre, Guajiro, Capisuna, Caupí nuevo; **GIII:** Provinciano, BRS Milenio, IT- 86, TVU – 382, MNC05-828C-3-15, Judío blanco, Caupicor 50. ***CRCD:** contribución relativa de los caracteres a la diversidad; Valores en negrillas descriptores más discriminantes.

3.1.2 Analisis clúster mediante metodo jerárquico. El análisis de agrupamiento jerárquico por el método de UPGMA, usando la distancia de GOWER, muestra inicialmente la distancia entre las accesiones (Tabla 16). En la lista se resaltan los valores máximo y mínimo, también los materiales involucrados en tales distanciamientos. En este sentido, la distancia genética máxima se obtiene con los genotipos más divergentes, en tanto que la distancia genética mínima, se logra con los genotipos mas similares, Bertini et al., (2010).

Tabla 16. Distancias de Gower entre 30 accesiones de fríjol Caupí.

N°	GENOTIPO	Distancia entre genotipos			
		Menor distancia		Mayor distancia	
1	CAUPI NEGRO	0,15827	21	0,528462	19
2	CAUPI CALAMARI	0,158295	1	0,496569	19
3	CAUPICA M-11	0,109081	9	0,393496	19
4	CUARENTANO	0,201486	9	0,47858	19
5	CAUPI PROVINCIANO	0,163918	3	0,400138	1
6	BETANCI	0,170765	20	0,400049	11
7	CRIOLLO CORDOBA	0,064059	25	0,400267	19
8	L-C-P-M-35	0,105912	16	0,386899	19
9	L-CP-M-37	0,07742	25	0,440702	19
10	BRS MILENIO	0,153578	12	0,40117	1
11	IT 86	0,186455	12	0,487939	1
12	TVU-382	0,153578	10	0,415493	1
13	GURGUEIA	0,17097	18	0,479803	19
14	BRS GUARIBA	0,176836	27	0,441554	19
15	BRS POTENGI	0,135129	16	0,431939	11
16	BRS TUMUCUMAQUE	0,105912	8	0,422238	11
17	BRS JURUA	0,217979	6	0,491488	19
18	CAUPI BRASIL 2016	0,17097	13	0,406466	19
19	MNC05-828C-3-15	0,270919	20	0,528462	1
20	JUDIO BLANCO	0,170765	6	0,359708	1
21	24135	0,15827	1	0,459995	11
22	CAUPICOR 50	0,096488	30	0,364221	1
23	L-019	0,107648	22	0,392351	1
24	LC-006-016	0,161851	8	0,443684	19
25	MOMPOSINO	0,064059	7	0,433519	19
26	MONOLARGO	0,149712	25	0,448379	19
27	MANO DE TIGRE	0,121444	25	0,457707	19
28	GUAJIRO	0,139004	3	0,425698	19
29	CAPISUNA	0,168286	21	0,441843	19
30	CAUPI NUEVO	0,096488	22	0,401932	19

*Los valores en negrilla corresponden a la distancia máxima y mínima entre las accesiones del estudio.

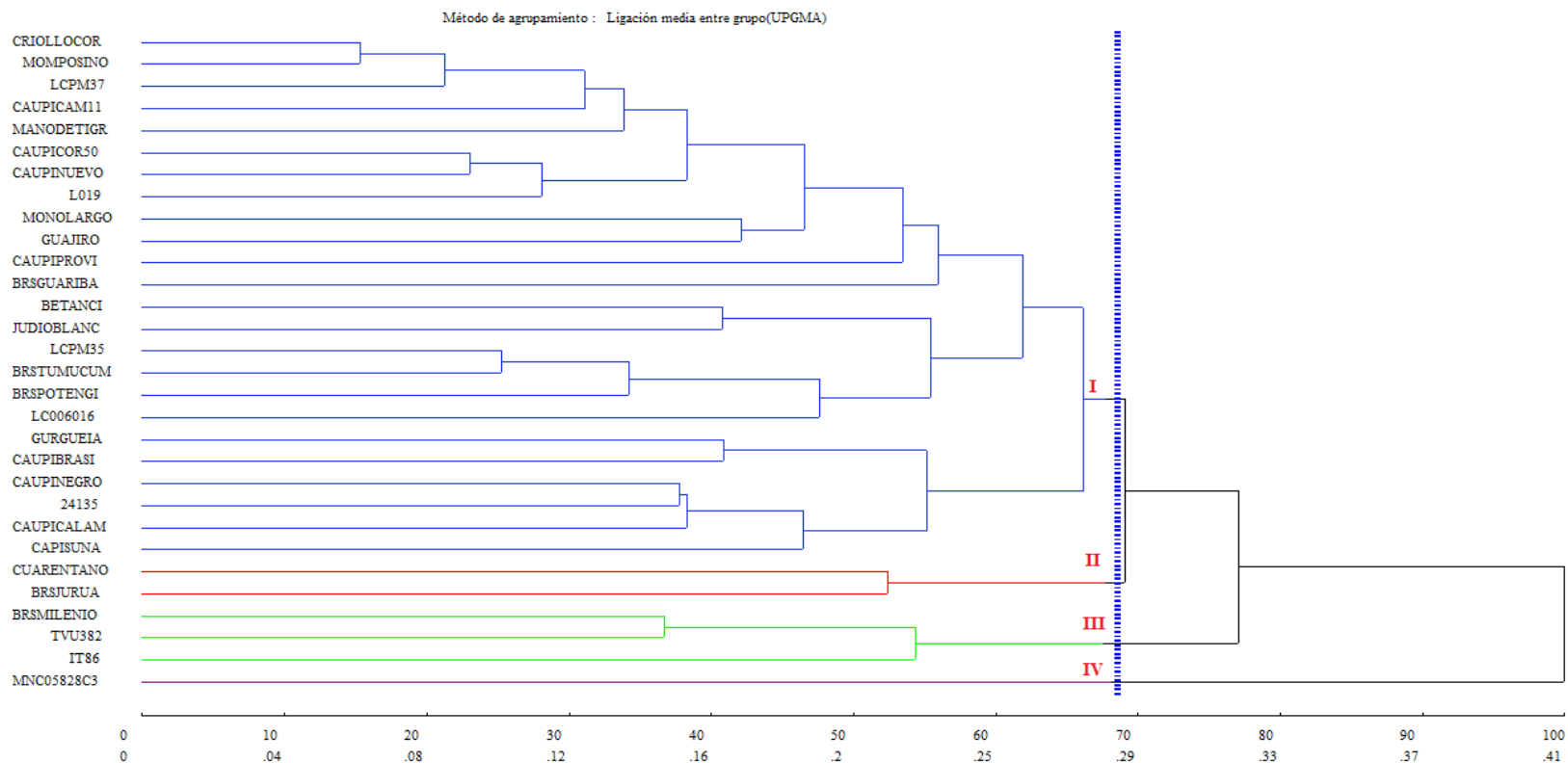
Los materiales que presentaron la mayor distancia fueron Caupí negro y MNC05-282-C-3-15, mientras que los más cercanos son Criollo Córdoba y Momposino, las diferencias y similitudes respectivas aparecen detalladamente resaltadas en la tabla número 17.

Tabla 17. Genotipos más y menos divergentes de fríjol caupí, según distancia de Gower

Caracter	Genotipos más divergentes		Caracter	Genotipos menos divergentes	
	Caupí negro	MNC05-828C-3-15		Criollo Córdoba	Momposino
VIG	No vigoroso	Muy vigoroso	VIG	No vigoroso	No vigoroso
CF	violeta	lila	CF	Lila	lila
PPF	Ala y est pig	Ala y est pig, en orilla	PPF	Ala muy pig y est pig	Ala muy pig y est pig
SFUS	No susceptible	No susceptible	SFUS	Mod. Susceptible	Mod. susceptible
HC	intermedio	Semi erecto	HC	Intermedio	intermedio
PPTA	Muy ligera	intermedia	PPTA	Intermedia	Mod. Base y apice
CH	Verde intermedio	Verde oscuro	CH	Verde intermedio	Verde intermedio
PVI	ninguna	ninguna	PVI	Pig. en apice	Pig. en apice
CVM	bronceo	paja	CVM	Paja	paja
FFA	Sub globosa	alargada	FFA	Sub alargada	Sub alargada
CUV	Lig.curva	curvav	CUV	Lig.curva	Lig.curva
FG	riniforme	riniforme	FG	Riniforme	riniforme
CG	negro	Blanco o crema	CG	Blanco o crema	Blanco o crema
TG	lisa	Reticulado fino	TG	Lisa a rugosa	Lisa a rugosa
DAF	45,75	36,00	DAF	35,00	35,50
VPTA	10,25	12,25	VPTA	15,75	15,50
VPED	1,75	1,25	VPED	2,00	2,00
LVA	18,23	15,48	LVA	15,63	17,20
LPED	2,24	2,00	LPED	1,39	1,99
NTP	5,50	5,00	NTP	7,00	6,75
LG	8,73	11,81	LG	9,60	9,37
AG	5,03	6,24	AG	5,17	5,10
NLV	17,50	14,25	NLV	13,75	15,50
NGV	16,50	9,50	NGV	13,50	14,50
RTO	1961,50	1456,25	RTO	2137,00	2388,50
PCS	16,00	36,00	PCS	20,00	19,50
HIERR	57,75	38,90	HIERR	57,35	54,20
ZINC	51,55	53,60	ZINC	58,30	50,80
PRO	22,55	18,95	PRO	22,80	23,75

Los caracteres resaltados en negrilla son los aquellos en los que se presentaron diferencias entre los genotipos.

En el dendograma de la Figura 5, se observa la agrupación de los materiales en cuatro conglomerados bien definidos, estos reúnen aquellas accesiones homogéneas dentro de un mismo grupo, el primero tiene 24 accesiones, el segundo 2 accesiones, el tercero 3 accesiones y el cuarto una sola accesión, las características morfo agronómicas de cada grupo, se relacionan en la tabla 18.



G I: Caupí Negro, Caupí Calamari, Caupica M-11, Caupí Provincial, Betanci, Criollo Córdoba, L-C-P-M-35, L-CP-M-37, Gurgueia, BRS Guariba, BRS Potengi, BRS Tumucumaque, Caupí Brasil 2016, Judio Blanco, 24135, Caupicor 50, L-019, LC-006-016, Momposino, Monolargo, Mano de tigre, Guajiro, Capisuna, Caupí nuevo.

G II: Cuarentano, BRS Jurua. **G III:** BRS Milenio, IT – 86, TVU-382. **G IV:** MNC05-828C-3-15.

Figura 5. Dendrograma de agrupamiento para 30 accesiones de fríjol caupí con distancia de Gower método UPGMA.

Tabla 18. Descriptores cualitativos determinados en 30 accesiones de frijol caupí.

DESCRIPTOR	GRUPOS			
	GI (24)	GII (2)	GIII (3)	GIV (1)
Vigor				
No vigoroso (Altura < 37 cm y anchura < 75 cm)	19	1	3	-
Intermedio (Altura > 37 cm o anchura > 75 cm)	5	1	-	-
Vigoroso (Altura > 37 cm y anchura > 75 cm)	-	-	-	-
Muy vigoroso (Altura > 50 cm y > 1 m)	-	-	-	1
Color de la flor				
Blanco	5	2	1	-
Violeta	7	-	-	-
Lila	12	-	2	1
Otro				
Patrón de pigmentación de la flor				
No pigmentado	5	2	1	-
Ala pigmentada, estandarte pigmentado claro en forma de v en la parte central	5	-	-	-
Pigmentación en la orilla del ala y estandarte	3	-	-	1
Ala pigmentada; estandarte ligeramente pigmentado	3	-	2	-
Ala con pigmentación en el margen superior; estandarte pigmentado	3	-	-	-
Completamente pigmentado	5	-	-	-
Otros (especificar)		-	-	-
Susceptibilidad a fusarium				
No susceptible	15	1	3	1
Moderadamente susceptible	9	-	-	-
Susceptible	-	1	-	-
Muy susceptible			-	-
Habito de crecimiento				
Erecto Agudo: Ramas forman ángulo agudo con el tronco principal	-	-	-	-
Erecto: Ángulo de inserción menos agudo que el anterior	4	-	-	-
Semi erecto: Ramas perpendiculares al tronco principal, pero no tocan el suelo	5	-	1	1
Intermedio: La mayoría de las ramas más bajas tocan el suelo	11	2	2	-
Semi postrado: Ramas que alcanzan 20 o más centímetros sobre el suelo	4	-	-	-
Postrado: Plantas completamente postradas, ramificación extendida por varios metros	-	-	-	-
Trepador	-	-	-	-
Pigmentación de la planta				
Ninguna	-	-	-	-
Muy ligero	7	-	-	-
Moderada en la base y en el ápice del peciolo	13	2	-	-
Intermedia	4	-	-	1
Extensiva	-	-	3	-
Total	-	-	-	-
Color de la hoja				
Verde claro	-	-	-	-
Verde intermedio	23	2	2	-
Verde oscuro	1	-	1	1

Continuación (Tabla 18). Descriptores cualitativos determinados en 30 accesiones de frijol caupí.

Pigmentación de la vaina inmadura				
Ninguna	8	-	-	1
Pigmentada en el ápice	15	2	2	-
Suturas pigmentadas	1	-	1	-
Válvulas pigmentadas y nervaduras verdes	-	-	-	-
Manchas de pigmentación	-	-	-	-
Uniformemente pigmentada	-	-	-	-
Otros	-	-	-	-
Color de la vaina madura				
Color paja	21	1	-	1
Bronce oscuro	3	-	-	-
Marrón - marrón oscuro	-	-	-	-
Negro o púrpura oscuro	-	1	3	-
Otro	-	-	-	-
Forma de foliolo apical				
Globoso	-	-	-	-
Sub globoso	2	-	-	-
Sub alargado	18	2	-	-
Alargado	4	-	3	1
Curvatura de la vaina				
Derecha	-	-	-	-
Ligeramente curva	22	-	3	-
Curva	2	2	-	1
Enrollada	-	-	-	-
Forma del grano				
Reniforme	17	-	1	1
Ovoide	5	1	-	-
Truncada	-	-	-	-
Globosa	-	-	-	-
Romboide	2	1	2	-
Color del grano				
Blanco o crema	17	1	3	1
Manchado de marrón o gris	1	-	-	-
Marrón , marrón claro	4	-	-	-
Rojo	1	-	-	-
Verde	-	1	-	-
Azul en negro	-	-	-	-
Azul a negro manchado o marmolado	-	-	-	-
Con señales pequeñas bien distribuidas	-	-	-	-
Marmolado	-	-	-	-
Marmolado y con signos	-	-	-	-
Otro (negro)	1	-	-	-
Textura del grano				
Lisa	9	1	-	-
Lisa a rugosa	9	-	-	-
Con arrugas (reticulado fino)	3	1	3	1
Rugosa a arrugada	3	-	-	-
Arrugada (arrugas gruesas)	-	-	-	-

Las accesiones del grupo I, tienen diferentes procedencias y se caracterizan por presentar plantas no vigorosas en su mayoría y otra pequeña parte de vigor intermedio, predominan las plantas con flores de color lila, pero algunas muestran color violeta y blanco, por esta razón se pueden encontrar diferentes patrones de pigmentación en las flores, algunos se presentan formando una “V” en el estandarte, y ala pigmentada, otros son de pigmentación total, y no pigmentado; la susceptibilidad a *Fusarium* es baja en la mayoría de las accesiones y moderada en algunas; el hábito de crecimiento más frecuente es el intermedio, y se presentan en menor proporción materiales semi erectos, erectos y semi postrados. La pigmentación de las plantas es moderada en la base y en el ápice del peciolo, las hojas presentan color verde intermedio y la forma del foliolo apical es sub alargada; las vainas inmaduras son pigmentadas en el ápice, y muestran color paja al madurar, solo tres materiales tienen vainas de color marrón – marrón oscuro, en cuanto la curvatura de la vaina, son ligeramente curvas, los granos son arriñonados, aunque en ciertos materiales son ovoides y romboides. El color de grano predominante es el blanco o crema, seguido del marrón, marrón claro y machado de marrón o gris, rojo y negro; la textura de los granos más frecuente es lisa a rugosa, seguida de la denominada reticulada fina.

El segundo grupo, tiene dos accesiones, el cuarentano de procedencia nacional y el BRS Jurua proveniente de Brasil, de vigor intermedio el primero y no vigoroso el segundo, ambos con flores color blanco, es decir, el patrón de pigmentación de la flor es no pigmentado, el Caupí cuarentano es susceptible al ataque de *Fusarium* (ver anexo 2), mientras el otro material resultó no susceptible, el hábito de crecimiento es intermedio, las plantas son pigmentadas en la base y ápice del peciolo, presentan hojas de color verde intermedio y la forma del foliolo apical es sub alargada, las vainas son curvas, cuando están inmaduras son pigmentadas en el ápice, y al madurar, las vainas del cuarentano son color paja, mientras las del Jurua, son de color negro o púrpura, el caupí Cuarentano tiene granos de forma ovoide, de color blanco o crema y textura lisa, mientras los granos del BRS Jurua, son romboides, de color verde y con reticulado fino.

En el tercer grupo se encuentran tres accesiones provenientes de Brasil, se caracterizan porque sus plantas son no vigorosas, el material BRS Milenio tiene flores blancas, los

materiales IT - 86 y TVU – 382, presentan flores de color lila y con patrón de pigmentación floral similar (ala y estandarte ligeramente pigmentado), este grupo no mostró susceptibilidad al ataque de *Fusarium*; BRS Milenio y TVU – 382 son de hábito de crecimiento intermedio y su color de hoja es verde intermedio, mientras el material IT – 86, es semi erecto y su color de hoja es verde oscuro, los foliolos apicales son de forma alargada, la pigmentación de la planta es extensiva en todos los materiales, las vainas inmaduras son pigmentadas en el ápice en BRS Milenio y TVU – 382, y para IT – 86, se presentan suturas pigmentadas, las vainas maduras son de color negro o púrpura, presentan curvatura ligera en las vainas, los granos son de color blanco o crema, la textura presenta reticulado fino y la forma de los granos del BRS Milenio son arriñonados mientras en los otros genotipos son romboides.

El material MNC05-828C-3-15, aparece como única accesión del grupo IV, este material posee características muy especiales frente al resto de accesiones del estudio, la primera es su calificación en vigor de las plantas (muy vigorosas), es decir, al momento de evaluar este descriptor, las plantas en campo superaban los 50cm de altura y el diámetro de su follaje era mayor a 1m. Interesante porque es una alternativa para mejorar el crecimiento rápido de la planta en sus etapas iniciales. Sus flores son color lila, estas son pigmentadas en la orilla del ala y estandarte, no es susceptible a *Fusarium*, las plantas son de hábito de crecimiento semi erecto, con pigmentación intermedia, su color de hoja es verde oscuro, la forma del foliolo apical es alargada, presenta vainas curvas, sin pigmentación alguna en estado inmaduro y color paja en la madurez, los granos son arriñonados, de color blanco o crema, con pequeñas arrugas. Por la capacidad de producir biomasa, este material podría ser utilizado para producción de granos y forraje.

En resumen los descriptores cualitativos discriminantes de este trabajo permiten confirmar su utilidad en la determinación de la diversidad genética del frijol caupí, especialmente en caracteres relacionados con la arquitectura de planta, el vigor, la susceptibilidad al ataque de algunos patógenos, y el formato de vainas y granos, ya que se pueden emplear en la identificación de características contrastantes entre las accesiones de esta colección, y que le sirven al programa de mejoramiento de la universidad para ampliar la base genética de la especie a partir del germoplasma disponible. Hasta aquí, se han analizado los caracteres

cualitativos en los grupos de accesiones arrojados por el análisis de agrupamiento a través de la distancia de Gower y el método UPGMA, a continuación, se interpretarán los resultados de las variables cuantitativas evaluadas en el desarrollo de esta investigación, los valores de los caracteres cuantitativos de cada grupo se relacionan en la tabla 19.

Tabla 19. Descriptores cuantitativos determinados en 30 accesiones de frijol caupí.

DESCRIPTOR	GRUPO			
	GI (24)	GII (2)	GIII (3)	GIV (1)
Días a floración (días)	36,71±2,9	35,25±0,35	35,67±0,58	36,00
Número de vainas por planta (N°)	13,28±2,7	13,63±0,18	14,42±1,44	12,25
Número de vainas por pedúnculo (N°)	1,88±0,2	2,00±0,00	1,83±0,38	1,25
Longitud de la vaina (cm)	17,23±1,9	15,11±1,93	14,13±0,99	15,48
Numero de nudos en el tallo principal (N°)	6,40±0,8	6,88±0,18	7,00±0,25	5,00
Largo del grano (mm)	9,00±0,5	8,23±0,44	8,90±1,39	11,81
Ancho del grano (mm)	5,11±0,4	5,04±0,00	5,35±0,29	6,24
Numero de lóculos por vaina (N°)	15,53±1,5	16,00±0,35	13,92±0,38	14,25
Numero de granos por vaina (N°)	14,66±1,6	15,13±0,88	13,08±0,63	9,50
Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	1649,79±517,4	1861,50±421,79	1591,00±62,82	1456,25
Peso de cien semillas (g)	18,84±2,9	16,88±0,18	20,33±5,51	36,00
Contenido de hierro (mg.kg ⁻¹)	58,16±9,3	56,90±3,39	50,98±7,54	38,90
Contenido de zinc (mg.kg ⁻¹)	51,78±6,6	64,88±18,56	52,02±9,36	53,60
Contenido de proteína (%)	21,30±1,7	22,73±0,04	18,95±1,34	18,95

El grupo I, reúne las accesiones más tardías para iniciar floración, estas emplean $36,71 \pm 2,9$ días para hacerlo (la información específica del grupo aparece en la tabla 20), las plantas forman $13,28 \pm 2,7$ vainas por planta, en este aspecto solo superan al genotipo del grupo IV, el promedio de vainas por pedúnculo es de 1,88, este resulta ser el segundo mejor promedio para esta variable del estudio, los materiales presentan vainas largas de 17,23 cm de longitud, el número de nudos en el tallo principal es de 6,40; las dimensiones del grano son 9,00 mm de largo y 5,11 mm de ancho, el número de lóculos por vaina es 15,53, mientras que el número de granos por vaina es 14,66, el rendimiento promedio es de $1649,79 \text{ kg.ha}^{-1}$, y se destacan porque sus granos son los que acumulan más hierro en su interior con promedio de $58,16 \text{ mg.kg}^{-1}$, sus niveles de zinc son los más bajos respecto al resto de grupos (solo $51,78 \text{ mg.kg}^{-1}$), y el contenido de proteína es de 21,30%, el segundo mejor promedio del estudio para la característica .

Tabla 20. Datos cuantitativos mostrados por accesiones del grupo I.

GENOTIPO	DAF (Días)	VPTA (N°)	VPED (N°)	LVA (cm)	NTP (N°)	LG (mm)	AG (mm)	NLV (N°)	NGV (N°)	RTO (Kg.ha ⁻¹)	PCS (g)	HIERR (mg.kg ⁻¹)	ZINC (mg.kg ⁻¹)	PRO (%)
CAUPI NEGRO	45,75	10,25	1,75	18,23	5,50	8,73	5,03	17,50	16,50	1961,50	16,00	57,75	51,55	22,55
CAUPI CALAMARI	37,00	11,25	1,75	18,05	6,50	8,96	4,76	17,75	16,75	2452,00	16,75	52,40	49,80	22,85
CAUPICA M-11	35,00	15,00	1,75	15,43	6,25	7,89	4,70	16,00	15,00	1777,75	14,75	53,25	59,40	19,75
CAUPI PROVINCIANO	35,00	12,75	2,00	15,00	6,75	8,47	4,75	13,25	12,00	718,75	14,50	62,55	61,55	20,20
BETANCI	35,00	14,75	2,00	17,75	6,50	8,78	4,79	15,75	15,00	1753,00	14,50	74,75	53,60	20,55
CRIOLLO CORDOBA	35,00	15,75	2,00	15,63	7,00	9,60	5,17	13,75	13,50	2137,00	20,00	57,35	58,30	22,80
L-C-P-M-35	35,00	12,75	1,75	19,28	6,75	8,85	5,25	15,25	14,00	1113,75	18,75	56,50	53,75	21,60
L-CP-M-37	35,50	17,25	2,00	16,48	7,50	9,10	4,81	15,50	15,00	1937,75	16,00	53,25	54,55	22,75
GURGUEIA	35,00	14,50	1,75	17,48	6,75	7,74	4,31	16,00	15,75	1705,00	14,50	51,35	40,50	21,05
BRS GUARIBA	35,00	8,50	2,00	20,30	6,75	9,57	5,57	16,50	16,00	1196,00	23,00	56,30	40,45	23,35
BRS POTENGI	35,00	10,00	2,00	17,80	6,75	9,01	5,83	16,00	14,25	800,25	23,75	60,65	50,30	18,80
BRS TUMUCUMAQUE	36,75	9,50	1,75	21,98	5,75	9,74	5,06	15,75	14,50	1310,75	24,00	54,85	51,00	20,80
CAUPI BRASIL 2016	35,00	11,00	1,50	16,33	5,00	8,95	5,63	15,75	14,00	1691,25	20,00	45,00	41,70	18,50
JUDIO BLANCO	37,00	14,25	2,00	16,28	5,50	9,78	4,93	13,75	12,75	1116,25	19,50	68,15	45,95	18,45
24135	38,00	12,50	1,50	18,85	5,50	9,04	5,39	17,25	16,25	1338,25	20,50	64,30	53,85	23,30
CAUPICOR 50	35,00	13,50	2,00	16,38	6,75	9,35	5,29	13,50	12,25	1847,75	22,25	45,85	53,10	22,75
L-019	35,00	18,25	2,00	14,65	7,50	9,23	5,15	13,50	12,75	1727,50	20,00	52,90	52,70	20,05
LC-006-016	35,00	11,50	2,00	14,35	6,00	8,17	5,15	12,75	12,50	616,50	17,75	89,25	62,00	19,25
MOMPOSINO	35,50	15,50	2,00	17,20	6,75	9,37	5,10	15,50	14,50	2388,50	19,50	54,20	50,80	23,75
MONOLARGO	39,50	13,50	2,00	17,15	5,50	9,19	4,97	17,00	16,00	1935,75	18,00	59,60	44,35	21,50
MANO DE TIGRE	39,00	15,50	2,00	19,78	6,75	9,16	4,86	17,50	17,50	2155,25	18,25	62,10	47,15	21,95
GUAJIRO	44,00	15,00	1,50	17,98	4,75	9,06	5,10	16,75	16,00	1799,50	17,25	57,60	59,15	20,90
CAPISUNA	38,00	9,25	2,00	14,63	6,50	8,73	5,80	16,75	15,75	2317,75	21,25	53,15	45,15	19,85
CAUPI NUEVO	35,00	16,75	2,00	16,48	8,25	9,47	5,18	13,75	13,25	1797,25	21,50	52,75	61,95	24,00
MEDIA	36,71	13,28	1,88	17,23	6,40	9,00	5,11	15,53	14,66	1649,79	18,84	58,16	51,78	21,30
DESV. E	2,9	2,7	0,2	1,9	0,8	0,5	0,4	1,5	1,6	517,4	2,9	9,3	6,6	1,7

En el grupo II, se encuentran los materiales que inician la etapa de floración en menor tiempo ($35,25 \pm 0,35$ días), el número de nudos en el tallo principal es de 6,88, estos genotipos son los más prolíficos, esto debido a que son los que tienen más vainas por pedúnculo (dos exactamente), producen en promedio 13,63 vainas por planta, la longitud de las vainas producidas es de 15,11 cm, el número de lóculos por vainas es $16 \pm 0,35$ y el número de granos por vaina es 15,13; las dimensiones del grano de este grupo son 8,23 mm de largo, y 5,04 mm de ancho, lo que genera un peso de cien semillas de 16,88 g, aunque este grupo de accesiones no tiene los granos de mayor tamaño del estudio, si tiene el mejor promedio de rendimiento, el cual llega a $1861,50 \text{ kg.ha}^{-1}$, el contenido nutricional de estos materiales es muy bueno, ya que en hierro acumulan $56,90 \text{ mg.kg}^{-1}$, y en zinc y proteínas son los más destacados con promedio de $64,88 \text{ mg.kg}^{-1}$ y 22,73% respectivamente; La información detallada de las accesiones del grupo se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Datos cuantitativos mostrados por accesiones del grupo II.

GENOTIPO	DAF (Días)	VPTA (N°)	VPED (N°)	LVA (cm)	NTP (N°)	LG (mm)	AG (mm)	NLV (N°)	NGV (N°)	RTO (Kg.ha ⁻¹)	PCS (g)	HIERR (mg.kg ⁻¹)	ZINC (mg.kg ⁻¹)	PRO (%)
CUARENTANO	35,00	13,50	2,00	16,48	6,75	7,92	5,04	16,25	15,75	1563,25	16,75	54,50	78,00	22,75
BRS JURUA	35,50	13,75	2,00	13,75	7,00	8,54	5,04	15,75	14,50	2159,75	17,00	59,30	51,75	22,70
MEDIA	35,25	13,63	2,00	15,11	6,88	8,23	5,04	16,00	15,13	1861,50	16,88	56,90	64,88	22,73
DESV. E	0,35	0,18	0,00	1,93	0,18	0,44	0,00	0,35	0,88	421,79	0,18	3,39	18,56	0,04

Las accesiones relacionadas en el grupo III, inician floración cuando las plantas tienen $35,67 \pm 0,58$ días, tienen el mayor promedio de número de nudos en el tallo principal, por lo que su producción de vainas por planta también es la mayor del estudio ($14,42 \pm 1,44$), el número de vainas por pedúnculo es de $1,83 \pm 0,38$, son las vainas más cortas, solo con 14,13 cm de longitud, pero son materiales que no tienen lóculos vacíos, ya que el número de lóculos por vaina es igual al número de granos por vaina (13 en promedio), el peso de cien semillas es de 20,33 g, esto en respuesta a la longitud y ancho del grano que son $8,90 \pm 1,39$ mm y $5,35 \pm 0,29$ mm, en este caso el ancho del grano incide en la diferencia del peso de los 100 granos, respecto a los dos grupos descritos anteriormente. En cuanto a los contenidos

nutricionales, los valores son moderados para hierro y zinc ($50,98 \pm 7,54 \text{ mg.kg}^{-1}$ y $52,02 \pm 9,36 \text{ mg.kg}^{-1}$), y bajos para proteína ($18,95 \pm 1,34 \%$). Ver información detallada referente a los materiales del grupo en la tabla 22.

Tabla 22. Datos cuantitativos mostrados por accesiones del grupo III.

GENOTIPO	DAF (Días)	VPTA (N°)	VPED (N°)	LVA (cm)	NTP (N°)	LG (mm)	AG (mm)	NLV (N°)	NGV (N°)	RTO (Kg.ha ⁻¹)	PCS (g)	HIERR (mg.kg ⁻¹)	ZINC (mg.kg ⁻¹)	PRO (%)
BRS MILENIO	35,00	12,75	1,50	14,60	6,75	9,64	5,48	13,50	12,50	1625,25	23,00	48,90	58,60	18,70
IT 86	36,00	15,25	2,25	13,38	7,25	7,29	5,02	14,25	13,75	1629,25	14,00	59,35	56,15	17,75
TVU-382	36,00	15,25	1,75	15,33	7,00	9,76	5,55	14,00	13,00	1518,50	24,00	44,70	41,30	20,40
MEDIA	35,67	14,42	1,83	14,43	7,00	8,90	5,35	13,92	13,08	1591,00	20,33	50,98	52,02	18,95
DESV. E	0,58	1,44	0,38	0,99	0,25	1,39	0,29	0,38	0,63	62,82	5,51	7,54	9,36	1,34

En el cuarto clúster (Tabla 23), se encuentra el material MNC05-828C-3-15, sobresale por que esta accesión produjo los granos de mayor tamaño del estudio, con 11,81 mm de longitud y 6,24 mm de ancho, por lo que el peso de cien semillas es el más alto de todos con 36 g. Sin embargo el rendimiento respecto a los demás grupos es menor, este hecho está relacionado con los demás componentes, nótese que este material tiene el número de nudos más bajo (solo 5), además su número de vainas por planta es de 12,25 y las vainas por pedúnculo son 1,25, pero sin duda alguna los caracteres más incidentes, son los relacionados con el llenado de granos en la vaina, pues forma 14,25 lóculos por vaina pero solo genera 9,50 granos, es decir, hay mucho vaneio, lo que evidencia un problema de llenado de grano en el material.

Tabla 23. Datos cuantitativos mostrados por la accesión del grupo IV.

GENOTIPO	DAF (Días)	VPTA (N°)	VPED (N°)	LVA (cm)	NTP (N°)	LG (mm)	AG (mm)	NLV (N°)	NGV (N°)	RTO (Kg.ha ⁻¹)	PCS (g)	HIERR (mg.kg ⁻¹)	ZINC (mg.kg ⁻¹)	PRO (%)
MNC05-828 C-3-15	36,00	12,25	1,25	15,48	5,00	11,81	6,24	14,25	9,50	1456,25	36,00	38,90	53,60	18,95

Los resultados obtenidos en la variable días a floración, indican que a nivel general los materiales evaluados, tardan 36,48 días, este valor está por debajo de los 44,4 días descritos por Fernández y arroyo, (2019), también de 39,61 reportados Dos santos, (2020); Santana et

al., (2019), encontraron que los materiales de su investigación, tardaron 46,5 días para iniciar la etapa de floración, así mismo, Mensen et al., (2017), determinaron que el inicio de floración en su trabajo, ocurrió entre los 64 y 82 días. En el descriptor peso de 100 semillas, el promedio general es 19,43 g, este valor está ligeramente por encima de 18,76 g que es el reporte de Dos Santos et al. (2016), también supera 15,24 g hallado por Fernández y Arroyo, (2019); igual sucede con el rango de valores (7,67 a 15,12 g), para este descriptor publicado por Mensen et al. (2017), aunque es menor que 22,97 g reportado por Dos Santos (2020), y 24,5 g del estudio de Santana et al. (2019). El rango en contenido de proteína estuvo entre 14,80 y 24,40%, que es mayor al rango reportado por González, (2019) en Ecuador; el rendimiento es otro carácter en que se superan otros estudios recientes, por ejemplo Santana et al. (2019), determinaron que 1090,2 kg.ha⁻¹ fue el promedio de su estudio, mientras Fernández y Arroyo, (2019), indicaron un rendimiento promedio para 10 líneas de fríjol caupí en Cereté de 1045 kg.ha⁻¹, el valor encontrado en este trabajo para este carácter fue 1651.58 kg.ha⁻¹, siendo Calamarí el material con el mayor rendimiento con 2452 kg.ha⁻¹ y LC-006-016 el menos rendidor con 616,50 kg.ha⁻¹, esto también difiere de lo encontrado por Fernández y arroyo, (2019), para este mismo material, el valor reportado por ellos fue de 1168,2 kg.ha⁻¹.

La variabilidad fenotípica existente queda determinada por los cuatro clústers descritos anteriormente, Como se pudo apreciar en los resultados de los caracteres cualitativos, uno de los más discriminantes fue el hábito de crecimiento, teniendo en cuenta este descriptor los materiales se distribuyeron en su orden entre las opciones intermedio, semi erecto, erecto y semi postrado; esto difiere del hábito semi trepador indeterminado y trepador que reportó Dos Santos, (2020). De acuerdo con Gonzales et al. (2019), también el color del grano es un descriptor muy discriminante en el fríjol caupí; refiriéndose a este carácter, Dos Santos, (2020), indicó que el color predominante entre los materiales evaluados fue el beige y el menos frecuente el blanco, contrario a esto, en el presente trabajo los granos de color blanco o crema se presentaron con una frecuencia del 70%, seguido de los de color marrón a marrón claro con 13,33% y granos de color rojo, verde y negro con 3,33% cada uno. En el aspecto

que se coincide con el autor mencionado anteriormente, es en la afirmación de que los materiales de frijol caupí que presentan flores blancas, originan granos de color blanco o crema. Esto se confirmó al verificar la afirmación en los cuatro materiales de flores no pigmentadas de este ensayo. La gran mayoría de los materiales mostraron baja susceptibilidad al ataque de *Fusarium* (66,7%), 30% de las accesiones fueron moderadamente susceptibles y solo un material (3%) resultó susceptible al ataque de este patógeno. La forma de grano predominante entre las accesiones del estudio es la riniforme (63,3%) seguida de la forma ovoide (20%) y la de menor frecuencia fue la forma romboide (16,7%),

En descriptores cuantitativos, de manera resumida se puede afirmar que el primer grupo acoge los materiales que más demoran en iniciar floración ($36,71 \pm 2,9$ días), que tienen las vainas de mayor longitud ($17,23 \pm 1,9$ cm) y con el promedio más alto para contenidos de hierro en el grano ($58,16 \text{ mg.kg}^{-1}$). El grupo número dos, tiene las accesiones con más rendimiento ($1861,50 \pm 421,79 \text{ kg.ha}^{-1}$), número de lóculos por vaina ($16,00 \pm 0,35$) y de granos por vaina ($15,13 \pm 0,88$), así mismo, las de mayor acumulación de zinc ($64,88 \pm 18,56 \text{ mg.kg}^{-1}$) y proteínas ($22,73 \pm 0,04 \text{ mg.kg}^{-1}$); en el tercer grupo, están los materiales con más número nudos en el tallo principal ($7,00 \pm 0,25$), y vainas por planta ($14,42 \pm 1,44$), también las de mejor llenado de las vainas, al tener igual número de lóculos y granos por vaina (13 en cada caso); el genotipo del grupo cuatro muestra los granos más largos (11,81 mm), anchos (6,24 mm) y pesados del estudio (36 g), aunque también tiene el menor número de vainas más por planta (12,25), y bajo número de granos por vaina (9,50); así mismo los contenidos de hierro y proteínas más bajos $38,90 \text{ mg.kg}^{-1}$ y 18,95%, respectivamente. Lo anterior refleja que hay características deseables agronómicamente distribuidas en accesiones ubicadas en grupos distintos genéticamente, lo que es una oportunidad que puede aprovechar el programa de mejoramiento de frijol Caupí de la Universidad de Córdoba, para adelantar hibridaciones encaminadas a obtener nuevas combinaciones con progenitores de características contrastantes a través de la explotación del vigor híbrido (heterosis), por ejemplo, se podría combinar la accesión LC-006-016 del grupo I, que es un material con alto contenido de hierro y zinc pero que presenta bajo rendimiento, con el cuarentano del grupo II, también se podrían

sugerir como progenitores los materiales del grupo III, que son accesiones de alto rendimiento, esto si se estuviera interesados en producir genotipos con granos de color blanco o crema, aunque si el interés fuera producir materiales con granos de color diferente al blanco o crema, se podría emplear como progenitor el BRS Jurua del grupo II, que es de alto rendimiento y su grano es de color verde. Por otro lado, si se quiere seleccionar materiales con crecimiento determinado, alto rendimiento, grano grande, hiliun negro, color de grano beige o crema con altos contenidos de hierro, zinc y proteína, además tolerantes a antracnosis, se debe tener en cuenta que no hay materiales entre los evaluados con patrón de crecimiento determinado, dado que ese fue uno de los ocho caracteres descartados por ser no discriminante, durante el análisis exploratorio, sin embargo se podría proponer un par de genotipos que son prospectos muy aproximados al perfil de material propuesto, ellos serían IT-86 y Caupíca M-11, esto por cumplir con la mayoría de los requisitos solicitados, haciendo la salvedad de que tamaño de grano no se cumple. Algunos materiales con características interesantes desde el punto de vista de la selección individual son: Caupí nuevo, Momposino, Criollo Córdoba, L-C-P-M-37 e IT-86.

4. CONCLUSIONES

La existencia de cultivares con atributos agronómicos favorables como alto rendimiento como IT- 86, BRS MILENIO y TVU-382 combinados con materiales de alto contenido de hierro, zinc y proteína, Caupí nuevo y LC-006-016, ofrece la posibilidad de desarrollar nuevos cultivares biofortificados para mejorar la calidad nutricional de los mismos y contribuir a minimizar los problemas de hambre oculta.

Las características cualitativas más discriminantes fueron vigor, habito de crecimiento, color de la flor y color del grano y en características cuantitativas peso de cien semillas, contenido de zinc, contenido de hierro y longitud de la vaina, basados en la contribución relativa de los caracteres a la divergencia genética.

El agrupamiento genético de las accesiones evaluadas, corroboró la existencia de diversidad en el germoplasma evaluado, separando las 30 accesiones en tres grupos empleando el método Kmeans y cuatro grupos con el método jerárquico, a través de la distancia de Gower y el método UPGMA, a pesar de que los métodos no arrojaron igual número de grupos, hay coincidencias en la identificación del material MNCO5-828C-3-15 como una accesión a parte de las demás, esto debido a que es el único material de vigor sobresaliente, calificado según los criterios de descripción cualitativa de la especie como muy vigoroso, además presentó los más altos índices de longitud y ancho del grano, también el mayor peso de cien semillas del estudio, los cuales son atributos de mucho interés agronómico ya que guardan relación con el rendimiento.

5. REFERENCIAS

- Betini, C.H., Almeida, W., Silva, A.P., Silva, J.W., Teófilo, E. 2010. Análise multivariada e índice de seleção na identificação de genótipos superiores de feijão-caupi. *Maringá*, 32 (4), 613-619. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i4.4631
- Correa, E. M., León, R. I., Lobato, M. A., García, M. A., Muñoz, C. G., y Tatis, H. A. (2019). Caracterización morfoagronómica de la colección de germoplasma de ají dulce (*Capsicum spp.*) del caribe colombiano. *Temas Agrarios*, 24(2), 81-95. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.1998>
- Cruz, C. (2006). Programa genes - aplicativo computacional em genética e estatística. (UFV, ed.) Viosa, Brasil. Recuperado de: www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm
www.ufv.br/dbg/biodata.htm
- Díaz Monroy, L. y Morales Rivera, M. (2012). *Análisis estadístico de datos multivariados*. Bogotá. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Dos Santos, C. (2020). *Caracterização morfoagronômica, fenológica e viabilidade polínica de genótipos de feijão*. (Tesis de maestría) Universidade Do Estado De Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado.
- Dos Santos, A., Ceccon, G., Davide, L. M. C., Luiz Neto Neto, A., Silva, J. F. da, y Alvares, R. de C. F. (2016). Integrated multivariate analysis to identify superior cowpea genotypes. *Comunicata Scientiae*, 7 (2), 223-231. <https://doi.org/10.14295/cs.v7i2.643>
- Fernández Gómez, W y Arroyo Rosales, F.L. (2019). *Evaluación de 10 genotipos de frijol caupí (Vigna unguiculata (L) Walp.) por características agronómicas y nutricionales en el municipio de Cereté – Córdoba*. (Tesis de pregrado). Universidad de Córdoba, Montería, Colombia.

Franco, T. L. e Hidalgo, R. (Ed.). (2003). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. Boletín técnico no. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia.

González Rodríguez, J. C., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M., y Tuz Guncay, I. G. (2019). Caracterización morfoagronómica y físico química de 22 accessiones de *Vigna* Sp. pertenecientes al banco de germoplasma de la UTMACH. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7 (2), 87-93. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

Menssen, M., Linde, M., Omondi, E. O., Abukutsa-Onyango, M., Dinssa, F. F., y Winkelmann, T. (2017). Genetic and morphological diversity of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) entries from East Africa. *Scientia Horticulturae*, 226, 268-276. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.08.003>

Miranda, I., Nualles, M. V., Fernández, L., y Esponda, D. C. (2010). Utilización del análisis de cluster con variables mixtas en la selección de genotipos de maíz (*Zea mays*). *Investigación operacional*, 31 (3), 209-216.

Molina, O., Milián, M., y Pons, C. C. (2019). Análisis multivariado con variables mixtas en el germoplasma de ñame (*Dioscorea* spp.). *Rev. Agricultura Tropical* 5 (1), 45-50.

Nunez-Colin, C. A y Escobedo-Lopez, D. (2014). Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos (review). *Acta agrícola y pecuaria*, 1 (1), 1-6.

Nunez-Colin, C. A y Escobedo-Lopez, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía. Mesoamericana*, 22 (2), 415-427.

Palencia, G., Mercado, T., y Combatt, E. (2006). *Estudio agroclimático del departamento de Córdoba*. Montería, Colombia Ed. Gráficas del Caribe.

Ruiz, E y Trujillo, N. (2020). 10 potencialidades de nuevos genotipos de calabaza para la agricultura en cuba. *Rev. Agricultura Tropical* 6 (1), 10-16.

Santana, S. R. A. D., Medeiros, J. E. D., Anunciação-Filho, C. J. D., Silva, J. W. D., Costa, A. F. D., y Bastos, G. Q. (2019). Genetic divergence among cowpea genotypes by morphoagronomic traits. *Revista Caatinga*, 32 (3), 841-850. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n329rc>

Singh, D. (1981). The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*. 41, 237-245.

6. CONCLUSIONES GENERALES

El desarrollo de este trabajo de investigación logró dar respuesta a las preguntas del planteamiento del problema.

1. ¿Existe variabilidad genética entre las accesiones de fríjol caupí del banco de germoplasma de la Universidad de Córdoba?

La respuesta a este interrogante es afirmativa, esto se verificó con la respuesta diferenciada de los materiales a través de los distintos descriptores cualitativos y cuantitativos evaluados, los cuales fueron muy marcados en caracteres tales como vigor, hábito de crecimiento, color de la flor, patrón de pigmentación de la flor, curvatura de la vaina, forma y color del grano, en la parte cualitativa mientras que en los caracteres cuantitativos los que más contribuyeron a la variabilidad genética fueron peso de cien semillas, contenido de zinc, contenido de hierro y longitud de la vaina.

2. ¿Hay genotipos con características agronómicas y nutricionales interesantes que se puedan utilizar como parentales de uso potencial en un programa de mejoramiento genético de esta especie?

Efectivamente, las accesiones MNCO5 – 828C – 3 -15 por muy alto vigor de las plantas y alto peso de cien semillas, también los materiales LC-006-016 por alto contenido de hierro y zinc, y Caupí nuevo con alto contenido proteína, cumplen con los atributos deseados, por tanto se sugieren como parentales en la búsqueda de cultivares que respondan a las necesidades de la región.

7. RECOMENDACIONES

Los resultados de este trabajo de investigación, deberían complementarse en el corto o mediano plazo con una caracterización a nivel molecular, ya que este tipo de estudios, serviría para determinar polimorfismo a nivel de secuencias de ADN, cuya ventaja es que se puede realizar durante cualquier etapa del desarrollo de la planta, debido a que la información genética de los individuos permanece inalterada, por lo que este tipo de identificación resulta muy precisa ya que no es afectada por el efecto ambiental, también es aconsejable realizar un análisis de sendero para determinar los efectos principales y secundarios entre variables de alta correlación que sean de interés agronómico, lo cual ayudaría en la selección de accesiones a través de la evaluación indirecta de una variable por medio de otra menos compleja de evaluar.

ANEXOS

ANEXO 1. Medias de caracteres cuantitativos en 30 accesiones de fríjol caupí.

ACCESION	DAF (Días)	NTP (N°)	VPTA (N°)	VPED (N°)	LPED (mm)
Caupí negro	45,8 a	5,5 bcd	10,3 ab	1,8 ab	2,24 a
Caupí calamari	37,0 c	6,5 abcd	11,3 ab	1,8 ab	2,03 a
Caupica M-11	35,0 c	6,3 abcd	15,0 ab	1,8 ab	1,90 a
Cuarentano	35,0 c	6,8 abcd	13,5 ab	2,0 ab	1,38 a
Provinciano	35,0 c	6,8 abcd	12,8 ab	2,0 ab	1,40 a
Betancí	35,0 c	6,5 abcd	14,8 ab	2,0 ab	2,00 a
Criollo Córdoba	35,0 c	7,0 abcd	15,8 ab	2,0 ab	1,39 a
L-C-P-M-35	35,0 c	6,8 abcd	12,8 ab	1,8 ab	1,88 a
L-CP-M-37	35,5 c	7,5 ab	17,3 ab	2,0 ab	1,20 a
BRS Milenio	35,0 c	6,8 abcd	12,8 ab	1,5 ab	1,46 a
IT 86	36,0 c	7,3 abc	15,3 ab	2,3 a	1,75 a
TVU-382	36,0 c	7,0 abcd	15,3 ab	1,8 ab	1,75 a
Gurgueia	35,0 c	6,8 abcd	14,5 ab	1,8 ab	1,50 a
BRS Guariba	35,0 c	6,8 abcd	8,5 b	2,0 ab	1,53 a
BRS Potengi	35,0 c	6,8 abcd	10,0 ab	2,0 ab	1,63 a
Tumucumaque	36,8 c	5,8 bcd	9,5 ab	1,8 ab	1,88 a
BRS Jurua	35,5 c	7,0 abcd	13,8 ab	2,0 ab	1,48 a
Brasil 2016	35,0 c	5,0 cd	11,0 ab	1,5 ab	1,63 a
MNC05-828C-	36,0 c	5,0 cd	12,3 ab	1,3 ab	2,00 a
Judio blanco	37,0 c	5,5 bcd	14,3 ab	2,0 ab	1,88 a
24135	38,0 c	5,5 bcd	12,5 ab	1,5 ab	1,85 a
Caupícor 50	35,0 c	6,8 abcd	13,5 ab	2,0 ab	1,70 a
L-019	35,0 c	7,5 ab	18,3 a	2,0 ab	1,88 a
LC-006-016	35,0 c	6,0 abcd	11,5 ab	2,0 ab	1,58 a
Momposino	35,5 c	6,8 abcd	15,5 ab	2,0 ab	1,99 a
Monolargo	39,5 bc	5,5 bcd	13,5 ab	2,0 ab	1,24 a
Mano de tigre	39,0 bc	6,8 abcd	15,5 ab	2,0 ab	1,51 a
Guajiro	44,0 ab	4,8 d	15,0 ab	1,5 ab	1,89 a
Capisuna	38,0 c	6,5 abcd	9,3 ab	2,0 ab	1,38 a
Caupí nuevo	35,0 c	8,3 a	16,8 ab	2,0 ab	1,63 a

Promedios con letras similares no varían estadísticamente según la prueba de Tukey ($P=0,05$). **DAF:** días a floración, **NTP:** número de nudos en el tallo principal, **VPTA:** número de vainas por planta, **VPED:** número de vainas por pedúnculo, **LPED:** longitud del pedicelo.

Continuación (Anexo 1). Medias de caracteres cuantitativos en 30 accesiones de fríjol caupí.

ACCESION	LVA (cm)	NLV (N°)	NGV (N°)	LG (mm)	AG (mm)
Caupí nego	18,2 bcdef	17,5 a	16,5 abc	8,73 cdefghi	5,03 efghij
Caupí calamari	18,1 bcdefg	17,8 a	16,8 ab	8,96 bcdefg	4,76 ijk
Caupica M-11	15,4 hijkl	16,0 abcde	15,0 abcdefg	7,89 hij	4,70 jk
Cuarentano	16,5 efghijk	16,3 abcd	15,8 abcdef	7,92 ghij	5,04 efghij
Provinciano	15,0 jkl	13,3 fg	12,0 hi	8,47 efghi	4,75 ijk
Betancí	17,8 cdefghi	15,8 abcdef	15,0 abcdefg	8,78 bcdefgh	4,79 hij
Criollo Córdoba	15,6 ghijkl	13,8 defg	13,5 defg	9,60 bc	5,17 cdefghij
L-C-P-M-35	19,3 bcd	15,3 abcdefg	14,0bcdefgh	8,85 bcdefgh	5,25 cdefgh
L-CP-M-37	16,5 efghijk	15,5 abcdef	15,0abcdefg	9,10 bcdef	4,81 hij
BRS Milenio	14,6 kl	13,5 efg	12,5gh	9,64 bc	5,48 bcde
IT 86	13,4 l	14,3 bcdefg	13,8 cdefgh	7,29 j	5,02 efghij
TVU-382	15,3 ijkl	14,0 cdefg	13,0 fgh	9,76 bc	5,55 bcd
Gurgueia	17,5 cdefghi	16,0 abcde	15,8 abcdef	7,74 ij	4,31 k
BRS Guariba	20,3 ab	16,5 abc	16,0 abcde	9,57 bcd	5,57 bcd
BRS Potengi	17,8 cdefgh	16,0 abcde	14,3 bcdefgh	9,01 bcdef	5,83 ab
Tumucumaque	22,0 a	15,8 abcdef	14,5 bcdefgh	9,74 bc	5,06 efghij
BRS Jurua	13,8 l	15,8 abcdef	14,5bcdefgh	8,54 defghi	5,04 efghij
Brasil 2016	16,3 fghijk	15,8 abcdef	14,0 bcdefgh	8,95 bcdefg	5,63 bc
MNC05-828C-	15,5 hijkl	14,3 bcdefg	9,5 i	11,81 a	6,24 a
Judio blanco	16,3 fghijk	13,8 defg	12,8 gh	9,78 b	4,93 fghij
24135	18,9 bcde	17,3 a	16,3 abcd	9,04 bcdef	5,39 bcdef
Caupícor 50	16,4 fghijk	13,5 efg	12,3 ghi	9,35 bcde	5,29 cdefg
L-019	14,7 kl	13,5 efg	12,8 gh	9,23 bcde	5,15 defghij
LC-006-016	14,4 kl	12,8 g	12,5 gh	8,17 fghi	5,15 defghij
Momposino	17,2 defghij	15,5 abcdef	14,5 bcdefgh	9,37 bcde	5,10 defghij
Monolargo	17,2 defghij	17,0 a	16,0 abcde	9,19 bcdef	4,97 fghij
Mano de tigre	19,8 abc	17,5 a	17,5 a	9,16 bcdef	4,86 ghij
Guajiro	18,0 bcdefg	16,8 ab	16,0 abcde	9,06 bcdef	5,10 defghij
Capisuna	14,6 kl	16,8 ab	15,8 abcdef	8,73 cdefghi	5,80 ab
Caupí nuevo	16,5 efghijk	13,8 defg	13,3 efgh	9,47 bcde	5,18 cdefghi

Promedios con letras similares no varían estadísticamente según la prueba de Tukey ($P=0,05$). **LVA:** longitud de la vaina, **NLV:** número de lóculos por vaina, **NGV:** número de granos por vaina **LG:** Longitud del grano, **AG:** ancho del grano.

Continuación (Anexo 1). Medias de caracteres cuantitativos en 30 accesiones de fríjol caupí.

ACCESION	RTO (kg.ha ⁻¹)	PCS (g)	HIERR (mg.kg ⁻¹)	ZINC(mg.kg ⁻¹)	PRO (%)
Caupí negro	1961,5 abcde	16,00 jklm	57,75 defgh	51,55 fgh	22,55 abcde
Caupí calamari	2452 a	16,75 ijklm	52,40 ghijk	49,80 fghi	22,85 abcd
Caupica M-11	1777,75 abcdefg	14,75 klm	53,25 efghijk	59,40 bc	19,75 cdefg
Cuarentano	1563,25 defg	16,75 ijklm	54,5 efghij	78,00 a	22,75 abcd
Provinciano	718,75 ij	14,50 lm	62,55 cde	61,55 b	20,20 bcdefg
Betancí	1753 abcdefg	14,50 lm	74,75 b	53,60 cdefg	20,55 abcdefg
Criollo Córdoba	2137 abcd	20,00 defghi	57,35 defgh	58,30 bcde	22,80 abcd
L-C-P-M-35	1113,75 ghij	18,75 fghij	56,50 defgh	53,75 cdefg	21,60 abcdef
L-CP-M-37	1937,75 abcdef	16,00 jklm	53,25 efghijk	54,55 cdef	22,75 abcd
BRS Milenio	1625,25 cdefg	23,00 bcd	48,90 hijk	58,60 bcd	18,70 fg
IT 86	1629,25 cdefg	14,00 m	59,35 cdefg	56,15 bcdef	17,75 g
TVU-382	1518,5 defgh	24,00 b	44,70 kl	41,30 jk	20,40 abcdefg
Gurgueia	1705 abcdefg	14,50 lm	51,35 ghijk	40,50 k	21,05 abcdefg
BRS Guariba	1196 fghij	23,00 bcd	56,30 defgh	40,45 k	23,35 abc
BRS Potengi	800,25 hij	23,75 bc	60,65 cdefg	50,30 fghi	18,80 fg
Tumucumaque	1310,75 efghij	24,00 b	54,85 defghi	51,00 fgh	20,80 abcdefg
BRS Jurua	2159,75 abcd	17,00 ijklm	59,30 cdefg	51,75 efgh	22,70 abcd
Brasil 2016	1691,25 bcdefg	20,00 defghi	45,00 jkl	41,70 jk	18,50 fg
MNC05-828C-	1456,25 defghi	36,00 a	38,90 l	53,60 cdefg	18,95 efg
Judio blanco	1116,25 ghij	19,50 efghi	68,15 bc	45,95 hijk	18,45 fg
24135	1338,25 efghij	20,50 cdefgh	64,30 cd	53,85 cdef	23,30 abc
Caupícor 50	1847,75 abcdefg	22,25 bcde	45,85 ijkl	53,10 cdefg	22,75 abcd
L-019	1727,5 abcdefg	20,00 defghi	52,90 fghijk	52,70 defg	20,05 cdefg
LC-006-016	616,5 j	17,75 hijkl	89,25 a	62,00 b	19,25 defg
Momposino	2388,5 ab	19,50 efghi	54,20 efghijk	50,80 fghi	23,75 ab
Monolargo	1935,75 abcdef	18,00 ghijk	59,60 cdefg	44,35 ijk	21,50 abcdef
Mano de tigre	2155,25 abcd	18,25 fghij	62,10 cdef	47,15 ghij	21,95 abcdef
Guajiro	1799,5 vabcdefg	17,25 hijklm	57,60 defgh	59,15 bcd	20,90 abcdefg
Capisuna	2317,75 abc	21,25 bcdefg	53,15 efghijk	45,15 hijk	19,85 cdefg
Caupí nuevo	1797,25 abcdefg	21,5 bcdef	52,75 fghijk	61,95 b	24,00 a

Promedios con letras similares no varían estadísticamente según la prueba de Tukey ($P=0,05$). **RTO**: rendimiento, **PCS**: peso de cien semillas, **HIERR**: contenido de hierro, **ZINC**: contenido de zinc, **PRO**: contenido de proteína.

ANEXO 2. Análisis fitopatológico realizado a plantas de caupí cuarentano afectadas por *Fusarium*.

